

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Absolvování individuální odborné praxe

Individual Professional Practice in the Company

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Karel Trčka

Studijní program:

B0713A060005 Elektroenergetika

Téma:

Absolvování individuální odborné praxe
Individual Professional Practice in the Company

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: ČEZ Distribuce, a.s.
2. Struktura závěrečné zprávy:
 - a. Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta
 - b. Seznam úkolů zadaných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti
 - c. Zvolený postup řešení zadaných úkolů
 - d. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe
 - e. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe
 - f. Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů konzultanta, který vedl odbornou praxi studenta.

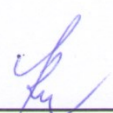
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

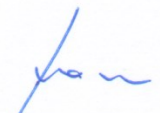
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ve Staříči dne: 13. května 2020


.....

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat firmě ČEZ Distribuce, a.s. za umožnění vykonat odbornou praxi právě v této firmě. Rád bych poděkoval všem zaměstnancům firmy, kteří mi poskytli cenné rady, zvláště pak panu Ing. Aleši Hlaváčovi a panu Ing. Pavlu Zagorskému za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích. Dále bych rád poděkoval panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce obsahuje shrnutí padesátidenní praxe ve společnosti ČEZ Distribuce, a.s., kterou jsem vykonával od října 2019 do března 2020, ve třetím ročníku studia na VŠB -TUO. Praxe probíhala na dvou pracovištích. První část praxe jsem strávil na úseku elektrických sítí Ostrava, druhou část praxe jsem vykonal na pracovišti elektrické stanice Lískovec.

Má bakalářská práce se věnuje důležitým pracovním činnostem a operacím, například prováděním kontrol v rámci řádu preventivní údržby, diagnostikou jednotlivých elektrických zařízení a mimo jiné i přezkušováním ochranných a pracovních pomůcek. V jednotlivých kapitolách bakalářské práce popisují pracovní postupy a činnosti, u kterých jsem byl přítomen. Vědomosti zde uvedené mohou posloužit pro odbornou veřejnost zajímající se o toto téma.

Klíčová slova:

ČEZ, odborná individuální praxe, distribuční soustava, elektrické stanice, řád preventivní údržby, diagnostika elektrických zařízení

Abstract:

This bachelor contains summarization of work done during 50 days of professional practice of third-year student of VSB-TUO under ČEZ Distribuce a.s. company, from October 2019 to March 2020. The practice was carried out within two workplaces. The first part of my practice I spent at the Electric network division in Ostrava. The second part of my practice I spent at the Electric station division in Lískovec.

My bachelor thesis is based on the description of important working procedures and operations, for example inspection within system of preventive maintenance, diagnostics of electrical devices, including protective equipment tests. The work provides an overview of the activities I have attended and can therefore serve as material for the professional public who are interested in the topic.

Keywords:

ČEZ, individual professional practice, distribution network, electrical substation, system of preventive maintenance, diagnostics of electrical devices

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Seznam ilustrací a seznam tabulek	9
1 Úvod.....	10
2 O společnosti ČEZ, a. s.....	11
3 Oddělení elektrické sítě Ostrava	12
3.1 Kontrola venkovního vedení VN	13
3.1.1 Označení stožárů	13
3.1.2 Nejčastější závady	14
3.1.3 Ochranné pásma	14
3.1.4 Vyhodnocení	15
3.2 Kontrola venkovního vedení NN	15
3.2.1 Výměna vadných vazů	15
3.3 Termovizní diagnostika.....	16
3.3.1 Úvod.....	16
3.3.2 Termovize v elektrotechnice	16
3.3.3 Termokamera	17
3.3.4 Způsob vyhodnocení měření	18
3.3.5 Příklad poruchového stavu	19
3.4 Preventivní údržba úsekového odpínače VN	20
3.4.1 Úvod.....	20
3.4.2 Provedení ŘPÚ.....	20
3.4.3 Příkaz B	21
3.5 Zemní kabelové vedení – značení a jejich vytyčování.....	21
3.5.1 Vyhledávání kabelů.....	21
3.5.2 Trasování.....	22
3.6 Identifikace podzemních kabelů.....	22
3.6.1 Přístroj k identifikaci kabelů	22
3.6.2 Provedení identifikace.....	23
3.7 Měřící vůz	24
3.8 Nalezení poruchy podzemního kabelu	24
3.8.1 Předběžná lokalizace poruchy	24
3.8.2 Přesná lokalizace poruchy	25
3.8.2.1 DigiPHONE ⁺	25

3.9	Napěťová zkouška.....	26
3.9.1	Diagnostika dielektrika	26
3.9.1.1	Ztrátový činitel ($\text{tg } \delta$).....	27
3.9.1.2	Postup měření $\text{tg } \delta$	27
3.9.2	Diagnostika částečných výbojů.....	29
3.9.2.1	Kalibrace měřicího obvodu částečných výbojů.....	29
3.9.2.2	Vlastní měření	30
3.10	Měření kvality elektrické sítě.....	30
3.10.1	Přístroje a příslušenství k měření kvality	31
3.10.2	Způsob měření kvality elektrické sítě	31
3.10.3	Nejčastější závada	32
3.11	Zkušebna OOPP Ostrava.....	32
3.11.1	Kontrola dielektrických rukavic.....	33
3.11.2	Kontrola zkoušečky VN	33
3.12	Olejová laboratoř.....	33
4	Oddělení elektrické stanice Lískovec	35
4.1	Vlastní spotřeba.....	35
4.1.1	Diagnostika akumulčních baterií	35
4.1.2	Diagnostika střídačů.....	36
4.2	Diagnostika distanční ochrany a opětovného zapnutí	36
4.2.1	Úvod.....	36
4.2.2	Provedení diagnostiky ochrany	37
4.2.3	Provedení diagnostiky opětovného zapnutí.....	38
4.2.4	Závěr	38
4.3	Diagnostika vakuového výkonového vypínače.....	39
5	Závěr.....	41
5.1	Znalosti získané v průběhu studia a uplatněné v průběhu odborné praxe.....	41
5.2	Scházející znalosti v průběhu odborné praxe	41
5.3	Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení	41
	Literatura.....	42
	Seznam příloh.....	43

Seznam použitých symbolů a zkratek

I	proud	[A - ampér]
R	odpor	[Ω - ohm]
T	teplota	[°C - stupeň Celsia]
U	napětí	[V - volt]
Z	impedance	[Ω - ohm]
t	čas	[s - sekunda]

AC	střídavé
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ČV	částečné výboje
DC	stejnoseměrné
G Ω	gigaohm
HDS	hlavní domovní skříň
Hz	hertz
L1	první fázový vodič
L2	druhý fázový vodič
L3	třetí fázový vodič
NN	nízké napětí
OOPP	osobní ochranné a pracovní pomůcky
OZ	opětovné zapnutí
PPN	práce pod napětím
PVC	polyvinylchlorid
ŘPÚ	řád preventivní údržby
SF ₆	fluorid sirový
U _N	jmenovité napětí
VN	vysoké napětí
VS	vlastní spotřeba
VVN	velmi vysoké napětí
a.s.	akciová společnost
cm	centimetr
kHz	kilohertz
kV	kilovolt
kVA	kilovoltampér
m	metr
mm	milimetr
ms	milisekunda
mV	milivolt
nC	nanocoulomb
nm	nanometr
μ A	mikroampér
μ s	mikrosekunda
$\mu\Omega$	mikroohm

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Obr. 1: Logo ČEZ, a.s. [1].....	11
Obr. 2: Struktura společnosti ČEZ Distribuce, a.s.	11
Obr. 3 Logo ČEZ Distribuce, a.s. [2]	12
Obr. 4: Příhradový stožár VN 22 kV.....	13
Obr. 5: Jednotlivé značení stožárů	13
Obr. 6: Ochranné pásma venkovního vedení nad 1000 V [4]	14
Obr. 7: Stav před výměnou PVC vazů NN	15
Obr. 8: Stav po opravě vazů NN	15
Obr. 9: Elektromagnetické spektrum [5].....	16
Obr. 10: Termokamera FLIR T640 [6]	17
Obr. 11: Kritéria hodnocení termovizní diagnostiky.....	18
Obr. 12: Digitální a termovizní snímek zjištěných závad,	19
Obr. 13: Souhrn termovizního měření.....	19
Obr. 14: Úsekový odpínač VN s jednoduchým závěsem	20
Obr. 15: Přístroj RD7000 s příslušenstvím [11].....	21
Obr. 16: Trasování podzemního vedení [12].....	22
Obr. 17: Přijímač s flexibilními kleštěmi (vlevo) a generátor (vpravo) [14]	23
Obr. 18: Zapojení přijímače CI RX a generátoru CI TX [15]	23
Obr. 19: Ukázka signalizace na přijímači [15].....	23
Obr. 20: Měřicí vůz	24
Obr. 21: Křivky pro předběžnou lokalizaci poruchy.....	25
Obr. 22: Přístroj DigiPHONE ⁺ včetně příslušenství [17].....	26
Obr. 23: Určení ztrátového činitele $\tan \delta$ [18]	27
Obr. 24: Průběh napěťových úrovní včetně křivky naměřených hodnot $\tan \delta$ [19].....	28
Obr. 25: Křivky středních hodnot jednotlivých napěťových úrovní	28
Obr. 26: Kalibrační křivka měřeného obvodu.....	29
Obr. 27: Mapovací snímek impulzů	30
Obr. 28: Měřicí přístroj MEG 37 se snímači proudů [22].....	31
Obr. 29: Ukázka zapojení přístroje MEG 37 do rozvaděče NN a MEG 38 do HDS u odběratele	31
Obr. 30: Zkouška dielektrických rukavic	33
Obr. 31: Měření průrazného napětí oleje včetně výsledků.....	34
Obr. 32: Jednoduché schéma vlastní spotřeby rozvodny	35
Obr. 33: Akumulační baterie 60 V	36
Obr. 34: Připojená distanční ochrana na vedení se zkratem.....	37
Obr. 35: Časové odstupňování závislé na velikosti impedance	37
Obr. 36: Mechanismus opětovného zapnutí OZ 111	38
Obr. 37: Vakuový vypínač ABB	39
Obr. 38: Křivky vypínače při zapnutí.....	40
Tab. 1: Vzdálenosti ochranného pásma pro venkovní vedení [3]	14
Tab. 2: Dané koeficienty pro různé roční období.....	19
Tab. 3: Změřené hodnoty v našem případě	33

1 Úvod

V dnešní době je používání elektrické energie bráno jako samozřejmost. Málo lidí si ale dokáže představit, kolik práce a úsilí stojí za dodávkou elektrické energie koncovému zákazníkovi. Soubor zařízení pro výrobu, přenos a spotřebu elektrické energie se nazývá elektrizační soustava, která se rozděluje na přenosovou a distribuční (rozvodnou). Pro svůj přenos a rozvod elektrické energie využívá transformační stanice a elektrické vedení.

V rámci praxe mi bylo umožněno zúčastnit se mnoha různorodých činností, které byly úzce spojeny s distribucí elektrické energie. Za slovem „distribuce“ se schovává mnoho pracovních úkonů, které zajistí kvalitní dodávku elektrické energie do našich domácností. Pracovní úkony řídí a realizují kmenoví zaměstnanci společně s dodavatelskými firmami, kteří vykonávají svou práci na požadované profesionální úrovni, někdy i nad rámec svých běžných povinností. Zaměstnanci ČEZ Distribuce, a.s. řídí a provádějí rekonstrukce, opravy, modernizace a rozšiřování sítí, pravidelné diagnostiky a také revize v rámci ŘPÚ na elektrických zařízeních. Zjištění aktuálního stavu zařízení se vykonává s cílem prodloužit životnost zařízení a předcházet poruchovým stavům.

Absolvováním odborné praxe jsem získal spoustu nových vědomostí. V řešení samostatných problémů jsem byl většinou díky teoretickým základům z vysoké školy „v obraze“. Věřím, že nabyté poznatky z odborné praxe využiji i v budoucím zaměstnání v oboru Elektroenergetika, kterému bych se chtěl věnovat.

2 O společnosti ČEZ, a. s.

ČEZ, a. s. (České energetické závody) je největší výrobce elektřiny v České republice. Značka ČEZ představuje výrobce či dodavatele energií celkem v 7 zemích, a má tak silnou pozici mezi energetikami ve střední a jihovýchodní Evropě. Předmětem podnikání je výroba, distribuce a obchod s elektřinou, výroba a rozvod tepelné energie, obchod s plynem a s nimi spojené činnosti. Skupina ČEZ je se zhruba 26 tisíci zaměstnanců druhým největším zaměstnavatelem v ČR. [1]

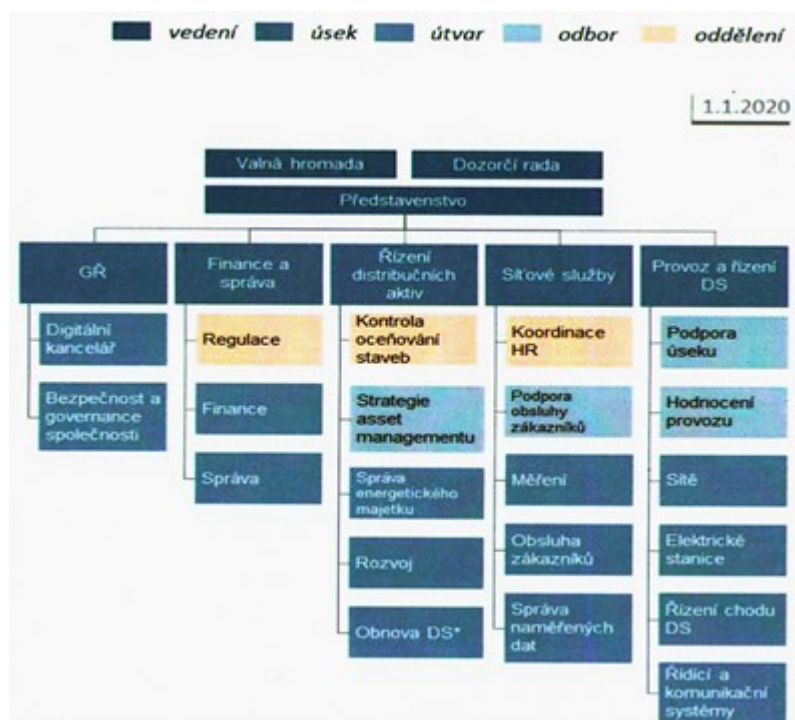


Obr. 1: Logo ČEZ, a.s. [1]

Společnost ČEZ Distribuce, a. s. je jako řízená osoba součástí koncernu řízeného společností ČEZ, a. s., jako řídicí osobou, a to při plném respektování všech požadavků a pravidel vyplývajících z Energetického zákona a ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/72/ES.

ČEZ Distribuce, a. s., je držitelem licence na distribuci elektřiny a ve smyslu energetického zákona č. 458/2000 Sb., je provozovatelem distribuční soustavy. Společnost působí na území krajů Plzeňského, Karlovarského, Ústeckého, Středočeského, Libereckého, Královéhradeckého, Pardubického, Olomouckého, Moravskoslezského a částečně v kraji Zlínském a Vysočina.

Cílem společnosti je zajišťovat vysokou kvalitu služeb nabízené zákazníkům v oblasti distribuce elektrické energie, připojování k distribuční soustavě a spolehlivé provozování distribuční soustavy dle standardů Energetického regulačního úřadu. [2]



Obr. 2: Struktura společnosti ČEZ Distribuce, a.s.

3 Oddělení elektrické sítě Ostrava

Činnosti, které následně popisují v bodech 3.1-3.4 a dalších, jsou vykonávány na základě tzv. Řádu preventivní údržby (ŘPÚ), který je popsán v interním dokumentu společnosti ČEZ Distribuce, a.s.: ČEZd_ME_0041r02.

Interní dokument stanovuje zásady pro zajištění pravidelných kontrol, diagnostiky a údržby zařízení distribuční soustavy v majetku ČEZ Distribuce, a.s., držitele licence pro distribuci elektřiny dle zákona č. 458/2000 Sb. v platném znění. Povinností držitele uvedené licence je zajistit bezpečný a provozuschopný stav technických zařízení používaných k licencované činnosti při splnění požadavků stanovenými právními předpisy, technickými normami a „Pravidly pro provozování distribučních soustav“.

Z hlediska zákona č. 458/2000 Sb. v platném znění je držitel licence pro distribuci elektřiny povinen zajistit, aby práce spojené s výkonem autorizované činnosti vyžadující odbornou způsobilost prováděly pouze osoby s odbornou způsobilostí dle Vyhlášky ČÚBP číslo 50/1978 Sb. v platném znění.

V ČEZ Distribuce a.s. je pravidelná kontrola a údržba energetického zařízení řízena „Řádem preventivní údržby ČEZ Distribuce, a.s.“ vydaným na podkladě ČSN 33 1500 v platném znění, ČSN 33 2000-6 v platném znění a PNE 33 0000-3 v platném znění.



Obr. 3 Logo ČEZ Distribuce, a.s. [2]

3.1 Kontrola venkovního vedení VN

Kontrola venkovního vedení se prováděla v oblasti Ostrava Kunčice pro linku VN 119, VN 120, VN 185 a VN 186 na vedeních 22 kV. Při kontrole venkovního vedení se zajímáme hlavně o stav podpěrných bodů. Vedení je postaveno na příhradových stožárech, kde se kontroluje případné poškození betonového základu nebo železných příček stožáru. Zároveň se kontroluje rozsah povrchové koroze a výskyt náletových dřevin v ochranném pásmu stožáru. Dále se při kontrole zjišťuje stav konzolí, izolátorů, vodičů, svorek, rozpínacích prvků, svodičů přepětí, uzemnění a dalších. Souhrn všech prováděných úkonů jsou podrobně uvedeny v ŘPÚ pro všechny typy energetických zařízení.



Obr. 4: Příhradový stožár VN 22 kV

3.1.1 Označení stožárů

Pro lepší vyhledávání požadované linky jsou stožáry popsány identifikačními údaji, v některých případech jsou i barevně označeny. Barevné označení se používá zejména u stožáru s dvojitým nebo vícetým vedením. Na stožáru nesmí chybět ani výstražné bezpečnostní tabulky.



Obr. 5: Jednotlivé značení stožárů

3.1.2 Nejčastější závady

Jednou z nejčastějších opakujících se závad jsou rychle rostoucí dřeviny, které se často dostávají až do blízkosti vodičů nebo zarůstají do konstrukce stožárů. Tyto případy řeší Energetický zákon č. 458/2000 Sb., který definuje ochranné pásma jednotlivých vedení (§ 46) včetně povinnosti k jejich odstraňování. Ochranné pásma slouží nejenom k bezpečnému provozování daného vedení, ale také k zajištění příjezdu pro účely oprav, rekonstrukcí i odstraňování poruch.

3.1.3 Ochranné pásma

Ochranným pásmem zařízení elektrizační soustavy je prostor v bezprostřední blízkosti tohoto zařízení určený k zajištění jeho spolehlivého provozu a k ochraně života, zdraví a majetku osob.

Ochranné pásmo nadzemního vedení je souvislý prostor vymezený svislými rovinami vedenými po obou stranách vedení ve vodorovné vzdálenosti měřené kolmo na vedení, která činí od krajního vodiče vedení na obě jeho strany. [3]

Tab. 1: Vzdálenosti ochranného pásma pro venkovní vedení [3]

a) u napětí nad 1 kV a do 35 kV včetně	
1. pro vodiče bez izolace *	7 m,
2. pro vodiče s izolací základní	2 m,
3. pro závěsná kabelová vedení	1 m,
b) u napětí nad 35 kV do 110 kV včetně	12 m,
1. pro vodiče bez izolace	12 m,
2. pro vodiče s izolací základní	5 m,
c) u napětí nad 110 kV do 220 kV včetně	15 m,
d) u napětí nad 220 kV do 400 kV včetně	20 m,
e) u napětí nad 400 kV	30 m,
f) u závěsného kabelového vedení 110 kV	2 m,
g) u zařízení vlastní telekomunikační sítě držitele licence	1 m.

* týká se předmětného případu



Obr. 6: Ochranné pásma venkovního vedení nad 1000 V [4]

V ochranném pásmu nadzemního vedení je mimo jiné zakázáno vysazovat chmelnice a nechávat růst porosty nad výšku 3 m.

3.1.4 Vyhodnocení

Všechny zjištěné závady se zapisují do příslušných formulářů. Následně se vyhodnocuje jejich důležitost, závady se dostávají do plánu údržby a postupně se odstraňují. Kontrola venkovních vedení VN se dle platného ŘPÚ provádí jednou ročně.

3.2 Kontrola venkovního vedení NN

Kontrola vedení NN se prováděla v oblasti Ostrava Petřkovice na vedeních NN 0,4 kV. Pochůzkou po trasách se zjišťuje stav jednotlivých podpěrných bodů různých druhů vyskytujících se na vedení NN:

- jednoduchý betonový sloup,
- dvojitý betonový sloup,
- dřevěný sloup,
- dřevěný sloup s betonovou patkou,
- železný příhradový stožár.

Dále se kontroluje uzemnění, kontrola izolátorů, vazů, stav konzolí, úplnost tzv. čepic u betonových sloupů včetně stavu ořezu náletových dřevin, atp. Úplný soupis kontrolovaných úkonů uvádí ŘPÚ vydaný ČEZ Distribucí, a.s.. Prohlídka vedení NN v zastavěné oblasti vyžaduje vysoké nároky na vyhledání všech úseků, odboček, domovních přípojek z pohledu hustého výskytu elektrického zařízení NN. Kontrola vedení NN se dle platného ŘPÚ provádí jednou za čtyři roky.

3.2.1 Výměna vadných vazů

Jednou z nejčastějších závad zjištěných při prohlídkách NN vedení je uvolňování vodičů AlFe od roubíkových izolátorů NN. Závady zpravidla způsobují PVC vazy používané v minulosti, které ztrácejí svou pevnost vlivem vysokých teplot a UV záření. Uvolněný vodič od izolátoru většinou spadne na konzoli. V případě uvolnění vazů druhého vodiče se na konzoli objeví dvě fáze a dojde ke vzniku zkratu. Pokud nezareaguje příslušná pojistka, dochází k upálení vodičů na konzoli. PVC vazy se vyměňují za hliníkový drát, v podobě tzv. křížových vazů.



Obr. 7: Stav před výměnou PVC vazů NN



Obr. 8: Stav po opravě vazů NN

Výměna vazů se provádí vysokozdvížnou izolovanou plošinou určenou pro PPN a za použití předepsaných ochranných a izolovaných pomůcek včetně nářadí. Izolační příkrývka se například používá k překrytí ostatních fází pro zvýšení bezpečnosti. Při výměně vazů se tedy nemusí vypínat dané vedení.

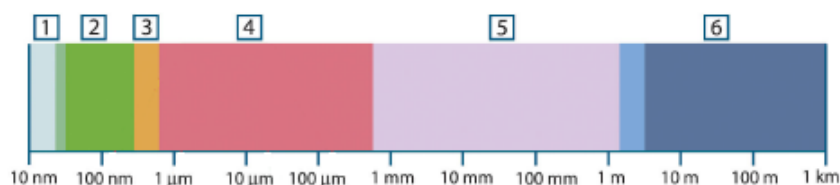
Druhou možností náhrady vazů je práce ze žebříku. Vedení NN musí být odpojeno od sítě a pracoviště zajištěno. V tomto případě dochází k omezení dodávky elektrické energie koncovým zákazníkům.

3.3 Termovizní diagnostika

Měření pomocí termovize umožňuje získat viditelnou informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného zařízení. Měření lze provést za provozu, bez jakéhokoliv poškození měřeného objektu a bez nutnosti odstávky diagnostikovaného objektu. Termovize se využívá v elektrotechnice, stavebnictví, zdravotnictví nebo pro vojenské účely. Měření se provádí pomocí termokamery.

3.3.1 Úvod

Elektromagnetické spektrum je rozděleno podle vlnových délek do několika skupin, kterým se říká vlnová pásma a která jsou dále rozdělena podle metod používaných pro vytváření a zjišťování radiace-vyzařování.



Obr. 9: Elektromagnetické spektrum [5]

1: rentgenové záření; 2: ultrafialové záření; 3: viditelné záření;
4: infračervené záření; 5: mikrovlnné záření; 6: radiové záření.

Termografie využívá vlnové pásmo infračerveného záření. Rozmezí infračerveného pásma je od 780 nm do cca 1 mm.

3.3.2 Termovize v elektrotechnice

Termovizní měření se využívá v elektrotechnice jako prostředek k identifikaci a hledání problémových oblastí při výrobě, přenosu a distribuci elektrické energie. Provádí se:

- měření kvality proudových spojů (svorky, spoje, apod.) na všech napětíových hladinách,
- prověřování, zda nedochází k přehřívání částí pod napětím vlivem přechodového odporu,
- kontrola transformoven (vinutí transformátoru, přípojnice a spojovací vedení, odpojovače, vypínače, viditelné části kabelů a kabel. koncovky, uzemnění stínění kabelů VVN atd.),
- kontrola rozvaděčů,
- měření spínacích stanic a rozvodů VN,
- měření venkovního vedení VVN (oteplení spojů, svodičů přepětí),
- měření venkovního a kabelového vedení VN, NN. [7]

Výsledky měření ovlivňuje počasí v podobě mlhy nebo ostrého slunečního svitu. Diagnostika pak za těchto podmínek vykazuje nepřesnosti. Při zjištění tepelných abnormalit na zařízení, měřící technik pořídí termokamerou fotografii a vytvoří protokol, ve kterém doporučí řešení. Protokol je zaevidován do systému sledování. Při závažnějším problému se ihned vysílá posádka montérů, kteří závadu neprodleně vyřeší. Měřící technik provádí termovizní diagnostiku v rámci ŘPÚ v intervalu čtyř let.

Pro termovizní měření je ideální mít na začátku sledované linky zatížení alespoň 50 A, neboť s větší vzdáleností od zdroje hodnota proudu klesá. Například pro vzdálenější odbočky z linky VN 22 kV se pohybuje hodnota proudu v jednotkách ampérů. Čím menší je hodnota proudu, tím se hůře vyhledává místo se zvýšenou teplotou materiálu. V případě větší přesnosti se může zařízení nechat uměle zatížit.

3.3.3 Termokamera

V našem případě se používala termokamera FLIR T640. Infračervená kamera měří a zobrazuje objektem vyzařované infračervené záření. Skutečnost, že záření přímo závisí na povrchové teplotě objektu, umožňuje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit. Termokamera FLIR T640 při pořízení fotografie současně zaznamenává digitální a termovizní snímek. Do kamery je nutné pro správné měření zadat následující parametry objektu:

- emisivita objektu,
- vzdálenost mezi objektem a kamerou,
- relativní vlhkost,
- teplota odraženého záření,
- teplota atmosféry. [5]



Obr. 10: Termokamera FLIR T640 [6]

Nejdůležitější parametr objektu, který musí být správně určen, je emisivita. Emisivita je poměr množství záření vyzařované objektem a záření dokonalého černého tělesa stejné teploty. Koeficient emisivity běžných materiálů a jejich upravených povrchů se pohybuje v rozsahu od 0,1 do 0,95. Emisivita absolutně černého tělesa je 1, naopak bílého je 0. Silně vyleštěný povrch (zrcadlo) má emisivitu velmi nízkou (nižší než 0,1), proto se měření termokamerou obdobných povrchů neprovádí. Olejové barvy mají ve viditelném spektru emisivitu větší než 0,9 (nezávisle na barvě). Ke sjednocení emisivity u vícero materiálů (např. v rozvaděči) se v praxi dosáhne použitím nátěru nebo lepicích pásků, které mají jednotnou emisivitu.

3.3.4 Způsob vyhodnocení měření

Hlavním kritériem pro rozhodnutí, zda se jedná o špatný spoj, není pouze absolutní teplota spoje, ale zejména teplotní rozdíl vůči ostatním spojům. V termogramu (grafický záznam rozložení teplot na povrchu snímaného objektu) je každé hodnotě teploty přiřazen určitý barevný odstín nebo odstín šedi. Měřením, postupným sledováním a porovnáváním s archivovanými hodnotami lze rozhodnout o kvalitě sledovaného spoje. Měření oteplení svorek, spojů a elektrických zařízení se doporučuje provádět alespoň při 50% zatížení. Při menším zatížení jsou výsledky zatíženy určitou chybou. [7]

Svorka nebo spoj, které jsou v pořádku, nemají být teplejší než vodič, na který jsou svorky připojeny. Spoje s vyšší teplotou než připojený vodič jsou klasifikovány podle oteplení a naléhavosti odstranění závady do čtyř stupňů:

Naměřená hodnota		Oteplení přepočítané na předpokládané max. zatížení	Kritéria hodnocení TMV diagnostiky		Poznámka
Oteplení oproti srovnávacímu prvku	Absolutní teplota		Stupeň závažnosti	Doporučené opatření	
$\Delta T \geq 65^\circ \text{C}$	$T \geq 90^\circ \text{C}$	-	4	Okamžitý zásah	V odůvodněných případech i při nižším oteplení
$40^\circ \text{C} \leq \Delta T < 65^\circ \text{C}$	$T \geq 65^\circ \text{C}$	$\Delta T \geq 65^\circ \text{C}$	3	Oprava co nejdříve – podle provozních možností	Při splnění kteréhokoli parametru
$10^\circ \text{C} \leq \Delta T < 40^\circ \text{C}$	-	$\Delta T < 65^\circ \text{C}$	2	Oprava nejpozději při pravidelném zásahu dle ŘPÚ	Při splnění obou parametrů V odůvodněných případech i při nižším oteplení
$\Delta T < 10^\circ \text{C}$	-	-	1	Bez zásahu	Místa s tímto oteplením nejsou považována za závadu

Obr. 11: Kritéria hodnocení termovizní diagnostiky

U zjištěné závady se uvádí proudové zatížení v okamžiku měření, naměřená teplota poruchy, atmosférická teplota a oteplení kritického místa v porovnání s referenční teplotou (srovnávací prvek) daného zařízení. U zařízení VN a VVN, kde je zjištěna závada, se provádí přepočet zjištěného zatížení vždy na 100 % jmenovitého zatížení. V našem případě jsme pro výpočet přepočteného oteplení, což je klíčová hodnota pro vyhodnocení měření, nevyužili hodnotu přepočteného zatížení, ale koeficient dle ročního období.

Hodnota přepočteného oteplení se zjistí ze vzorce:

$$\Delta T_{\text{přepočet}} = \Delta T_{\text{naměř.}} \cdot K, \quad (1)$$

kde $\Delta T_{\text{naměř.}}$... teplotní rozdíl mezi kritickým místem a srovnávacím prvkem,
 K ... koeficient dle ročního období (z diagramu zatížení energetické soustavy)

Koeficient se vypočítá ze vztahu:

$$K = \left(\frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{stř}}} \right)^2, \quad (2)$$

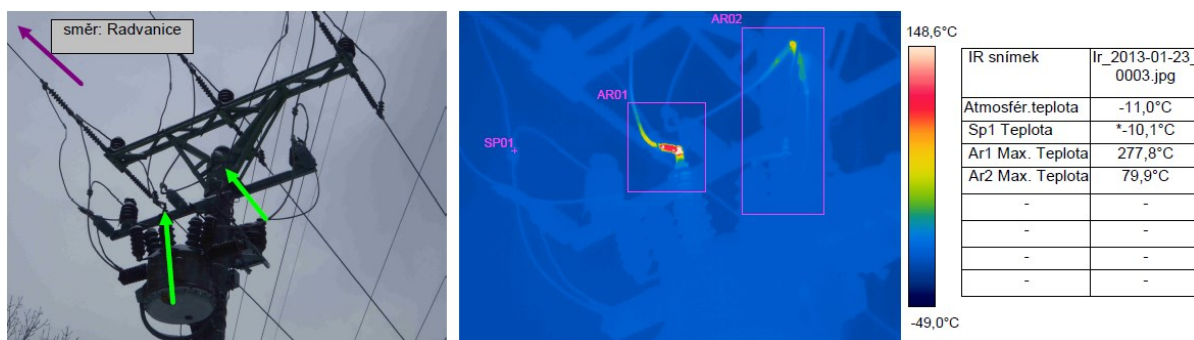
kde $I_{\text{stř}}$... průměrné zatížení soustavy v daném období,
 I_{max} ... roční maximální zatížení soustavy

Tab. 2: Dané koeficienty pro různé roční období

roční období	$K = \left(\frac{I_{\max}}{I_{\text{stř}}}\right)^2$
Celoroční	1,96
1. ledna – 15. května	2,25
15. května – 15. září	2,89
15. září – 15. říjen	2,25
15. říjen – 15. listopad	1,96
15. listopad – 31. prosince	1,69

3.3.5 Příklad poruchového stavu

Na Obr. 12 je znázorněna pomocí termovizního snímku porucha na šroubovém spoji střední a pravé fáze vedení VN 22 kV. Termokamera při měření uloží atmosférickou teplotu, teplotu srovnávacího prvku T_{SP} a maximální teplotu jednotlivých kritických míst T_{AR} .



Obr. 12: Digitální a termovizní snímek zjištěných závad,
vpravo: naměřené hodnoty z termokamery

Rozdílem teplot T_{AR} a T_{SP} se stanoví oteplení oproti srovnávacímu prvku $\Delta T_{\text{naměř.}}$, který vychází pro střední fázi 288 °C a pro pravou fázi 90,1 °C. Jelikož se měření provádělo začátkem ledna, koeficient použitý k přepočtu oteplení má hodnotu 2,25. Výsledná hodnota přepočteného oteplení se zjistí pomocí vzorce (1) uvedeného v předchozí kapitole. V tomto případě vychází přepočtená teplota pro střední fázi 648 °C a pro pravou fázi 202,7 °C. Ze zjištěných výsledků se obě poruchy posuzují (dle kritéria) jako stupeň závažnosti číslo 4, které se musí opravit bezodkladně.

Popis	Hodnota	I n [A]	I měř. [A]	Zatížení v %	Koeficient	Přepočet °C	Stupeň závady
Oteplení 1	*288,0 °C		63	*	2,25	*648,0	4
Oteplení 2	*90,1 °C		63	*	2,25	*202,7	4

Obr. 13: Souhrn termovizního měření

3.4 Preventivní údržba úsekového odpínače VN

3.4.1 Úvod

Úsekové odpínače pro venkovní vedení vysokého napětí dále jen úsečníky, jsou spínače schopné zapínat a vypínat proudy v rozsahu až do hodnoty svého jmenovitého proudu. Nejsou tedy schopné vypínat zkratové proudy, ale v zapnutém stavu je musí přenášet bez poškození. Používají se k připojení nebo odpojení určitého úseku hlavního vedení, případně spínání odboček, nebo přípojek k trafostanicím. Podle uchycení vodičů mohou být úsečníky s jednoduchým závěsem (jedním izolátorem), s dvojitým závěsem na jedné straně (dva izolátory na jedné straně a jeden izolátor na druhé straně) a nebo s dvojitým závěsem na obou stranách (dvojice izolátorů na každé straně). [8]

Vypnutí úsečníku se provádí ručně pomocí páky nebo dnes už i dálkově z centrálního dispečinku. Při vypínání dochází ke vzniku elektrického oblouku mezi opalovacími růžky. Elektrický oblouk se zhasí tak, že se pohyblivé růžky od pevných růžků vzdalují, čímž se oblouk prodlužuje. Prodloužením narůstá odpor oblouku a obloukové napětí, což způsobí uhasnutí oblouku při prvním průchodu proudu nulou.



Obr. 14: Úsekový odpínač VN s jednoduchým závěsem

3.4.2 Provedení ŘPÚ

V našem případě se jedná o úsečník US OS 8440 před trafostanicí OS 8440 – viz příloha II. V příslušné trafostanici se musí provést manipulace na vývodech z rozvaděče NN, tak aby bylo minimalizováno přerušování dodávky elektrické energie pro zákazníky. Zároveň se odpínačem US OS 3172 provádí vypnutí přívodu ze strany VN 22 kV. Po vypnutí zařízení se provede zajištění pracoviště pomocí zkratovacích souprav a to z každého možného místa napájení.

Podle ŘPÚ se provádí:

- kontrola stavu opálení, provedení očištění nebo obroušení brusným papírem a namazání kontaktních ploch vazelínou,
- funkční kontrola spínacího prvku – přezkoušení mechanické funkce, kontrola vůle kyvných izolátorů, vyčištění a promazání ovládacího pohonu,
- kontrola a namazání izolátorů, případné očištění hrubých nečistot,
- kontrola konstrukce úsečníku a jejího upevnění na podpěrný bod.

Povinná revize výše uvedeného elektrického zařízení VN se vykonává jednou za 4 roky. Na veškeré prováděné práce na elektrickém zařízení a v jeho blízkosti musí být vystaven příkaz B – viz příloha I.

3.4.3 Příkaz B

Příkaz B je písemný doklad o nařízených technických a organizačních opatřeních sloužících k zajištění bezpečnosti osob při práci na elektrickém zařízení nebo v jeho blízkosti. Příkaz vydává a podepisuje osoba pověřená příslušnou osobou odpovědnou za elektrické zařízení výroby, distribuční nebo přenosové soustavy. Vydává se jen pro jedno pracoviště a platí 24 hodin. Platnost příkazu B začíná při provedení první manipulace sloužící pro přímé odpojení příslušné části zařízení (pracoviště) a končí jeho písemným uzavřením. Povinnosti o vydání příkazu, jeho předání a uzavření nebo případy od jeho upuštění jsou definovány v podnikové normě PNE 33 0000-6. [10]

3.5 Zemní kabelové vedení – značení a jejich vytyčování

Pro projektování a kladení nových či rekonstruovaných silových elektrických kabelů NN/VN/VVN v distribučních sítích uložených do země platí norma PNE 34 1050. Položené kabely se doporučují opatřit v průběhu trasy trvanlivým označením ve vhodných vzdálenostech. Při uložení v zemi v zastavěném území se doporučuje značit v intervalu 3 metrů nebo ve volném terénu každých 20 metrů. Vždy se však musí označit v místech, kde se kabely křížují nebo odbočují a na obou koncích. Označení kabelů pomocí plastových štítků je provedeno s popisem za tepla nebo ražením za studena. Na štítky se vyznačí měsíc a rok montáže, napětí, druh kabelu a směry kabelu. U tras chrániček se kabely označují v místě vstupu a výstupu z chrániček.

Vytýčení se provádí například pomocí přístroje RD4000, RD7000 nebo RD8000. Značení o vytýčení kabelového vedení se vykonává pomocí reflexního, oranžového spreje. Ke každému vytýčení je k dispozici projektová dokumentace, ze které se dá zjistit přibližné umístění podzemních kabelů. Na závěr se provede zápis o vytýčení, který se následně nechá podepsat objednavatelem.

Pro lokalizaci kabelů jsme v našem případě použili přístroj RD7000, který se skládá z přijímače a vysílače. Přístroj slouží k vyhledávání a mapování zařízení pod povrchem a je schopen lokalizovat kabelové vedení od nízkého až po velmi vysoké napětí. Dokáže navíc změřit i hloubku podzemních vodičů až do 6 metrů.



Obr. 15: Přístroj RD7000 s příslušenstvím [11]

3.5.1 Vyhledávání kabelů

Prvním způsobem, jak odhalit trasy kabelů, je pomocí přijímače. Na začátek se dle parametrů naší rozvodné sítě nastaví na přijímač frekvence 50 Hz. Jelikož ve vodiči protéká

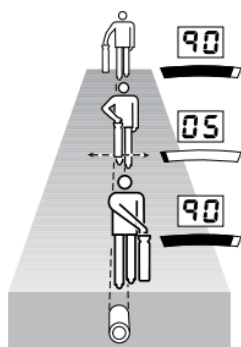
elektrický proud, vytváří se kolem vodiče elektromagnetické pole. Přijímač zachycuje toto pole a pomocí displeje ukazuje trasu, kde se kabelové vedení nachází.

Druhou, přesnější možností je přivést frekvenci přímo na kabel pomocí vysílače. Na přijímač i vysílač se nastaví stejná frekvence (např. 33 kHz). Velikost frekvence se vždy určí tak, aby byl co nejlepší signál. Vysílač přivádí do kabelového vedení signál indukci (umístění vysílače přímo na kabel) nebo přímým připojením.

Při přímém připojení se do vysílače zapojí indukční kleště, které se následně připevní do trafostanice kolem kabelu. Vysílač prostřednictvím kleští přivádí bezpečně signál do živých kabelů bez přerušování nebo odpojení napájení. Přijímač pak pomocí signálu určí trasu vytyčovaného kabelu.

3.5.2 Trasování

Přijímač umožňuje tři režimy pro trasování. K rychlejšímu trasování vedení se používá režim minima. Při chůzi podél dráhy vedení se pohybuje přijímačem vlevo a vpravo pro sledování odezvy minima přímo nad vedením a větší odezvy po stranách vedení. Při pohybu přijímačem nad vedením indikují šipky na displeji, jestli se vedení nachází vlevo nebo vpravo od přijímače. [12]



Obr. 16: Trasování podzemního vedení [12]

3.6 Identifikace podzemních kabelů

Identifikace podzemních kabelů se využívá v souběhu dvou a více kabelů v jedné kabelové trase nebo její blízkosti pro nalezení správného kabelu. V našem případě se vyhledával příslušný kabel, který byl následně rozstříhnut a smyčkou připojen do HDS. Při tomto pracovním postupu jde jednak o zamezení poškození kabelů v provozu, o zamezení záměny s jiným kabelem a také o zabezpečení maximální bezpečnosti pro osoby vykonávající montážní práce.

3.6.1 Přístroj k identifikaci kabelů

Pro identifikaci kabelů se využívá identifikační generátor typu CI TX, který slouží na identifikaci jedno a vícežilových NN a VN kabelů metodou proudových impulzů, v kombinaci s přijímačem typu CI RX. Na identifikovaný kabel se pomocí generátoru přivádí proudové rázy s maximální amplitudou až 100 A. Impulzy vytváří okolo kabelu elektromagnetické pole, které je snímáno flexibilními kleštěmi připojenými k přijímači. Flexibilní kleště pracují na principu Rogowského cívky. Vyhodnocením amplitudy a směru proudových impulzů je možné jednoznačně

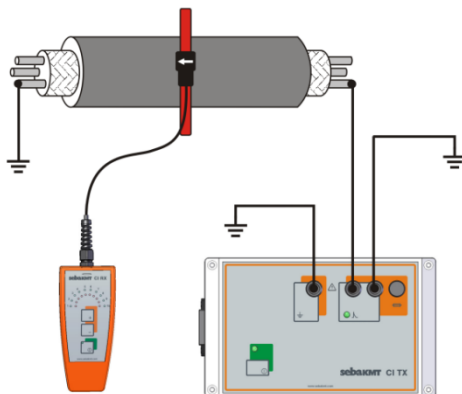
identifikovat kabel, ke kterému je připojený generátor. Starší typ přijímače navíc dokázal zjistit, jestli je kabel pod zátěží (přijímač vibroval). [13]



Obr. 17: Přijímač s flexibilními kleštěmi (vlevo) a generátor (vpravo) [14]

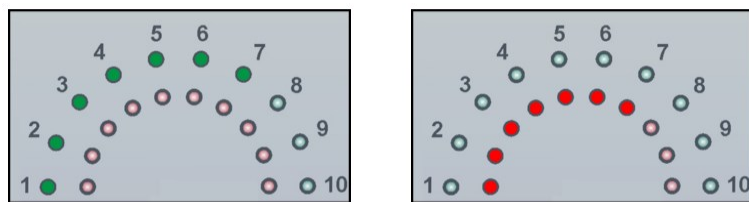
3.6.2 Provedení identifikace

Generátor může být připojen pouze na kabel, který je v beznapětovém stavu. Identifikovaný kabel je tedy potřeba oboustranně odpojit od napětí a vzdálený konec kabelu je potřeba uzemnit. Generátor se připojí na žílu a uzemnění v trafostanici. Kabel je v místě identifikace obepnut flexibilními kleštěmi. Při obepínání kleští je potřeba dbát na jejich správnou orientaci tzn. šipka na zámku kleští, musí směřovat od generátoru ke vzdálenému konci kabelu.



Obr. 18: Zapojení přijímače CI RX a generátoru CI TX [15]

Pokud přijímač zobrazuje pravidelné výchylky zelených LED diod, tak jsme na správném kabelu, do kterého přichází impulzy z generátoru. Na ostatních kabelech bude zobrazena buď výchylka červených LED diod, nebo výchylka žádná. Jestliže na vícero kabelech přijímač indikuje výchylku zelených LED diod, je velmi pravděpodobné, že jsou kleště nesprávně orientované.



Obr. 19: Ukázka signalizace na přijímači [15]

3.7 Měřicí vůz

Měřicí vůz obsahuje kompaktní systém Centrix City, který je vhodný pro jednofázové testování na shodu s normami a diagnostiku nízkonapěťových a vysokonapěťových kabelů zkušebním napětím do 45 kV. Měřicí vůz je navíc vybaven výkonným systémem pro rychlou lokalizaci kabelových poruch pomocí zápalného napětí do 40 kV.

Obsluha systému se provádí z centrální ovládací jednotky pomocí nabídky, která se stará též o automatické ukládání a záznam dat výsledků měření. Měřicí vůz se nikdy nesmí uvádět do provozu při odpojení zemnicím kabelu. Zemnicí kabel vytváří spojení mezi systémem a ochranným uzemněním a zaručuje ochranu celého systému proti nebezpečnému dotyku. Všechny fáze testovaného objektu, na kterých se neprovádí měření, musí být zkratovány a uzemněny.

V našem případě jsme pomocí měřicího vozu provedli lokalizaci poruchy, test ztrátového činitele a diagnostiku částečných výbojů podzemních kabelů.



Obr. 20: Měřicí vůz

3.8 Nalezení poruchy podzemního kabelu

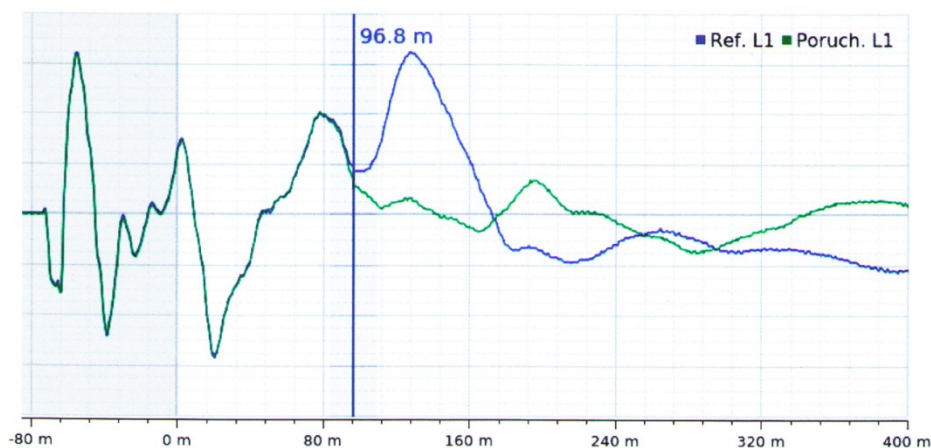
Cílem každé lokalizace poruchy v kabelu je přesné stanovení místa poruchy, aby nemuselo docházet ke zbytečným výkopovým pracím. Předběžná lokalizace pomáhá co nejvíce zúžit oblast hledání. Měření kabelu se provádí pomocí systému v měřicím voze. Z měření lze zjistit, je-li kabel poškozený, popřípadě místo poruchy. Pro nalezení poruchy se zapojí komponenty v měřicím voze dle vhodného schématu zapojení.

Kabel vysokého napětí z měřicího vozu se zapojuje do trafostanice, přímo na vadný kabel a nulový vodič pomocí krokosvorek. Pokud není známa poškozená žíla, musí se provést měření ohmického izolačního odporu (test izolace), při kterém se do systému nastaví měřicí napětí v rozsahu 0 až 5 kV. Měřicí napětí se volí dle typu kabelu. Výsledkem testu izolace se zjistí poškozená žíla.

3.8.1 Předběžná lokalizace poruchy

V měřicím systému měřicího vozu se nejprve pomocí měření odrazu oblouku (ARM) provádí předběžná lokalizace kabelových poruch. Okamžitou a zřetelnou identifikaci místa poruchy umožňuje přímé srovnání referenční a poruchové křivky. Při lokalizaci se nejprve zobrazí referenční křivka kabelu za normálních podmínek. Nabitý rázový kondenzátor se následně rychle vybíjí do kabelu a provádí se několik měření odrazů ve statickém oblouku vyvolaném zápalným napětím.

Technik následně vybírá ze zaznamenaných poruchových křivek tu, která se bude rovnat křivce referenční. Rovnost mají křivky až do místa poruchy, neboť díky odrazu od hořícího oblouku vykazuje poruchová křivka výrazný odklon od referenční křivky. V našem případě se zjistilo poškození kabelu 96,8 m od trafostanice - viz Obr. 21.



Obr. 21: Křivky pro předběžnou lokalizaci poruchy

V tomto případě jde o zkrat v kabelu, neboť poruchová křivka má po místě rozdělení klesající tendenci. Pokud by měla křivka tendenci stoupající, jednalo by se o přerušený kabel.

Metoda ARM umí také zjistit celkovou délku kabelu i v případech, kdy se v kabelu nachází zkrat.

3.8.2 Přesná lokalizace poruchy

Přesná lokalizace poruchy podzemního vedení se provádí pomocí rázových impulsů. Lokalizace rázovými impulsy je upřednostňovaná metoda přesného stanovení místa poruchy. Rázový generátor trvale přivádí do poškozené žíly impulsy rázového napětí, které vyvolají napěťové oblouky (přeskoky) v místě poruchy. Pro efektivní potlačení rušivých vlivů je nutné, aby docházelo ke stabilnímu magnetickému pulzu. Výsledný zvuk přeskoků se šíří v zemi a lze jej přesně zaznamenat snímačem zemního hluku na povrchu (akustická lokalizace). Pro přesnou identifikaci zvuku přeskoků se využívá snímač DigiPHONE⁺. Pokud je porucha lokalizována, provede se na povrchu její označení prostřednictvím reflexního spreje.

Nakonec se označí pomocí vhodného přístroje trasa kabelu v blízkosti poruchy, aby při výkopových pracích byla zřejmá i trasa poškozeného kabelu. Pro trasování podzemního vedení je dále důležité znát celkovou délku kabelu, kterou už známe z měření odrazu oblouku (ARM). Čím je větší délka kabelu, tím se volí na vysílači pro trasování větší frekvence, která se následně nastaví i v přijímači.

3.8.2.1 DigiPHONE⁺

DigiPHONE⁺ je přenosný přístroj k vyhledávání rázových vln a k přesnému doměření místa přeskoku na kabelech uložených do země. Přístroj obsahuje zobrazovací (ovládací) jednotku, sluchátka a teleskopické držadlo připojené na senzor. Pro vyhledání poruchy se na začátku vybírá správná snímací hlava v závislosti na vlastnostech podloží, která se šroubuje na spodní stranu senzoru.

Měřicí obrazovka uživateli zobrazuje informace, které mu kromě akustického signálu ve sluchátkách umožňuje přesné vyhledání poruchy (směr k poruše, časový rozdíl poslední a aktuální pozice, nastavení zesílení, poloha vedení, a další).

Přístroj DigiPHONE⁺ umí také potlačit okolní rušivé zvuky, kdy sbírá informace o rušivých signálech a o užitečném signálu a tyto signály vyhodnocuje. Na základě množství rázových impulsů získaných z místa poruchy se vylepšuje potlačení nechtěných zvuků. [16]



Obr. 22: Přístroj DigiPHONE⁺ včetně příslušenství [17]

3.9 Napět'ová zkouška

V našem případě jsme pomocí napět'ové zkoušky zkontrolovali kvalitu montáže spojky na VN kabelu, v rámci spolehlivosti a životnosti namontovaného kabelového souboru. Kontrolovaný VN kabel se nacházel mezi dvěma trafostanicemi. Nejdříve jsme provedli zkoušku dielektrika pomocí měření ztrátového činitele ($\tan \delta$). Následně jsme vykonali zkoušku částečných výbojů. Obě zkoušky jsou součástí testovací diagnostiky, při které je nutné odstavit sledované kabelové vedení z provozu a přivést impuls pomocí externího zdroje. Jako externí zdroj nám posloužil měřicí vůz, který obsahuje zdroj zkušebního napětí. Provedením diagnostik lze podstatně snížit náklady na údržbu a obnovu sítí a maximalizovat životnost.

3.9.1 Diagnostika dielektrika

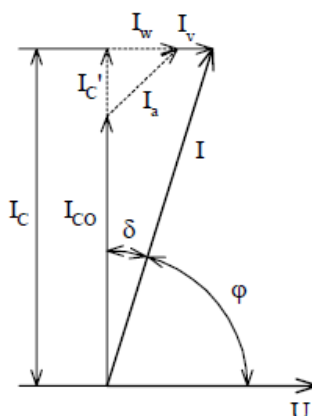
Podzemní kabely nízkého a vysokého napětí jsou v průběhu svého používání trvale vystaveny tepelnému, elektrickému a mechanickému namáhání. Navzdory používání odolných materiálů dochází k opotřebování nebo stárnutí kabelu, které mohou opět vést k měřitelnému nárůstu dielektrických ztrát. Měřítkem těchto dielektrických ztrát je tzv. ztrátový činitel $\tan \delta$, který lze stanovit v rámci testu ztrátového činitele. Na základě výsledků měření a celkových efektů stárnutí, například stupně vlhkosti, lze provést diagnostiku a identifikovat kabely s kritickým stárnutím.

3.9.1.1 Ztrátový činitel ($\tan \delta$)

Po přivedení napětí ze zkušebního zdroje má proud protékající izolací tři složky:

- I_{CO} je kapacitní složka proudu,
- I_a je absorpční složka,
- I_v je vodivostní složka proudu (způsobuje činné ztráty).

Poskládáním fázorů všech složek se vytvoří proud procházející zkoušeným dielektrikem. Ztrátový úhel je definován jako tangens úhlu, o který se liší fázový posun proudu zkoušeného izolantu od fázového posunu proudu ideálního bezeztrátového dielektrika. Ideální dielektrikum má fázový posun mezi napětím a proudem 90° . Čím větší je zjištěná hodnota $\tan \delta$, tím je horší stav izolace. Tangens delta je bezrozměrné číslo. [18]



Obr. 23: Určení ztrátového činitele $\tan \delta$ [18]

3.9.1.2 Postup měření $\tan \delta$

Při měření ztrátového činitele se zapojí komponenty v měřícím voze dle vhodného schématu zapojení. Velikost přivedeného zkušebního napětí do kabelového vedení se vypočítá podle vzorce (3). V našem případě se provedla diagnostika kabelu VN, který napájí transformátor 22/0,4 kV. Tudíž provozní napětí ve sledovaném VN kabelu je 22 kV. Po dosazení do vzorce a výpočtu jsme nastavili na zkušební zdroj napětí $U_0 = 12,7$ kV.

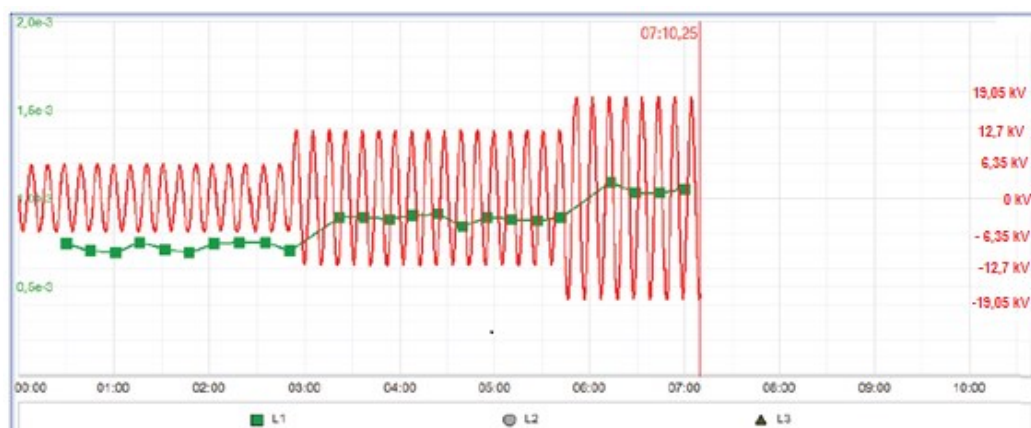
$$U_0 = \frac{U_{\text{prov}}}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

kde U_0 ... zkušební jmenovité napětí,
 U_{prov} ... provozní napětí sledovaného kabelu

Následně se do systému vloží informace o kontrolovaném kabelu, tj. délka a typ izolace. Izolace může být papírová, plastová nebo kombinovaná.

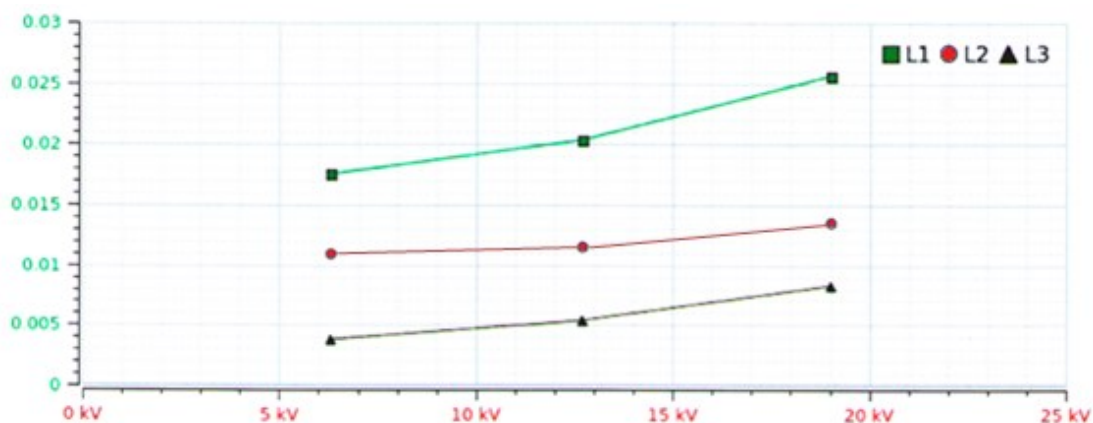
Při samotném měření se udává počet napětíových úrovní, kterými projde zkušební napětí v průběhu krokového testu. První napětíová úroveň je $0,5U_0$. S každou napětíovou úrovní se napětí zvýší o $0,5U_0$. Pro vyhodnocení výsledků měření se požaduje alespoň provedení třech napětíových úrovní, tzn. $0,5U_0$, $1U_0$ a $1,5U_0$. Doporučená hodnota frekvence zkušebního napětí je 0,1 Hz.

Pro každou napětíovou úroveň je nutno zaznamenat alespoň 8 naměřených hodnot, z kterých se určí střední hodnota. Čím více naměřených hodnot se využívá, tím spolehlivější je vypočtená střední hodnota. Po spuštění měření se naměřené hodnoty $\tan \delta$ zobrazí jako barevné symboly v souladu s legendou pod diagramem. [19]



Obr. 24: Průběh napětíových úrovní včetně křivky naměřených hodnot $\tan \delta$ [19]

Z křivek středních hodnot (viz Obr. 25) se zjistí konečná hodnota ztrátového činitele, která se rovná střední hodnotě všech napětíových úrovní v dané fázi. Výsledkem je hodnota $\tan \delta$ pro všechny fáze jednotlivě. Automatickým vyhodnocením zjištěných údajů se vyhodnotí stav všech tří fází dle normy IEEE 400.2. Fáze L1, L2 a L3 nemusí mít vždy stejnou hodnotu ztrátového činitele (např. může nastat rozdíl ve vlhkosti izolací jednotlivých fází).



Obr. 25: Křivky středních hodnot jednotlivých napětíových úrovní

V případě, kdy křivka roste rovnoměrně nahoru, jedná se o ideální stav. Poklesnutí křivky v průběhu měření upozorňuje na horší stav kabelu (stárí, vlhkost). Poklesnutí křivky na konci měření indikuje špatnou koncovku. V mnoha případech dochází při diagnostice dielektrika k prasknutí koncovky.

Pokud na měřeném objektu během testu dojde k napětíovému průrazu, měření se přeruší a dochází k opravě kabelu. Po úspěšném dokončení měření na všech fázích, které projdou napětíovými úrovněmi, se proces diagnostiky ukončí.

3.9.2 Diagnostika částečných výbojů

Při výrobě izolačního systému se nedá zabránit vzniku malých chyb a nehomogenit v dielektriku, dochází tak ke vzniku dutinek. Když se dutinky nacházejí mezi elektrodami, mezi kterými je napětí, může namáhání elektrickým polem v nejslabším místě překročit pevnost tohoto místa. Překročení pevnosti vede k vytvoření elektrického výboje, který se nazývá částečný výboj. [18]

Částečné výboje mají destrukční vliv na izolaci. Obsahují-li dutinky kyslík, vytvářejí výboje v dutince ozón, který je schopný degradovat izolační materiál. Dále může dojít také k velkému lokálnímu tepelnému zatížení nebo průrazu celého dielektrika.

ČSN EN 60270 popisuje částečné výboje jako elektrické výboje, které částečně přemostňují izolaci mezi elektrodami, nebo vodiči, které jsou na různých potenciálech. Diagnostika částečných výbojů je ideální metoda na ověření kvality instalace a montáže kabelů před uvedením do provozu. Tato diagnostika se považuje za jednu z nejučinnějších diagnostických metod.

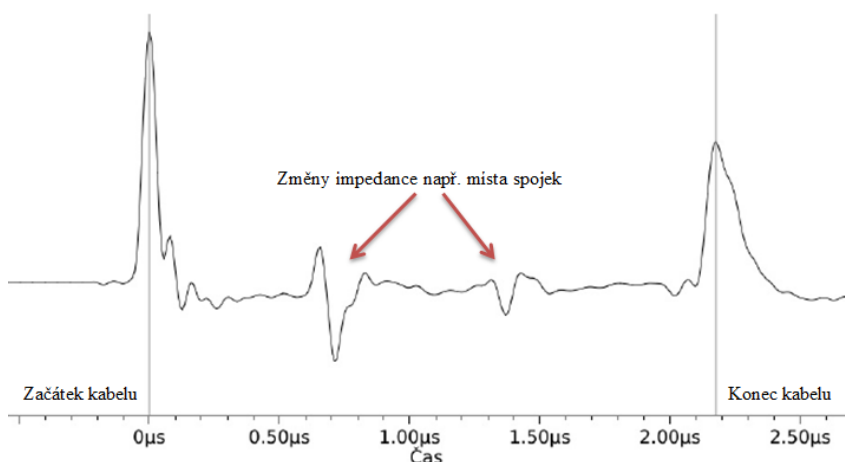
Pro měření částečných výbojů se používá kromě zkušebního zdroje, také detektor částečných výbojů. Měření se provádí v měřicím systému PDS 60 (v měřicím voze), který umožňuje identifikaci, klasifikaci a lokalizaci poruch s částečnými výboji v izolaci.

3.9.2.1 Kalibrace měřicího obvodu částečných výbojů

Po připojení měřicího systému k měřenému objektu se musí provést kalibrace obvodu prostřednictvím kalibračního přístroje, který se připojí k měřenému fázovému vodiči. Kalibrací lze zaručit spolehlivé měření a jeho vyhodnocení.

Kalibrační přístroj vytvoří impulzy (umělé částečné výboje) o námi stanoveném náboji, který se šíří kabelem. Ve většině případů se nastavuje velikost náboje 1 nC, který se nastaví i do měřicího systému. Do systému se také nastaví délka kontrolovaného kabelu v metrech. Pokud je délka kabelu neznámá, zadává se rychlost šíření. Rychlost šíření je dána typem izolace zkoumaného kabelu (např. kombinovaná izolace = 80 m/μs).

Při spuštění měření detektor částečných výbojů identifikuje kalibrační impulzy a na obrazovce se zobrazí začátek kabelu, průběh kabelu s případnými změnami impedance (spojky a jiné změny) a konec kabelu – viz Obr. 26. Po provedení kalibrace lze přejít k vlastnímu měření, před kterým je nutno odpojit kalibrační přístroj, aby nedošlo k jeho zničení vysokým napětím.



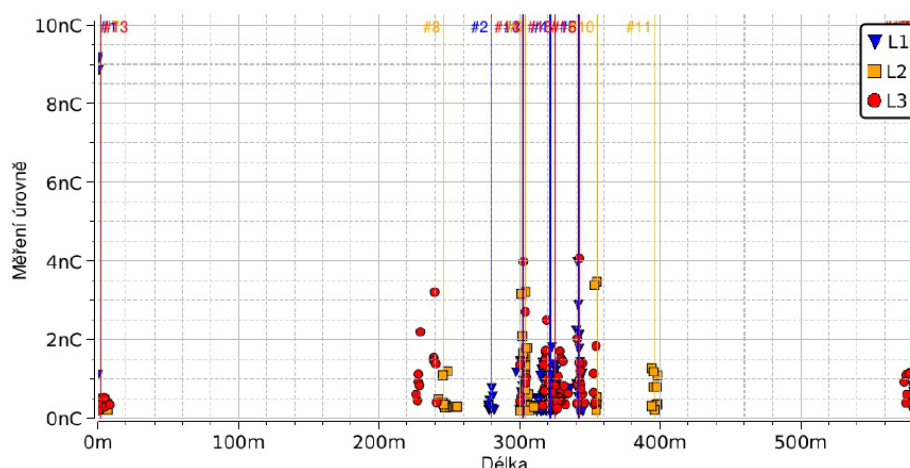
Obr. 26: Kalibrační křivka měřeného obvodu

3.9.2.2 Vlastní měření

Na zdroji v měřicím voze se nastaví zkušební napětí, jako tomu bylo v kapitole 3.9.1.2. Tudíž při diagnostice kabelu na napěťovou hladinu 22kV je hodnota $U_0 = 12,7 \text{ kV}$. V průběhu měření se zvyšuje napětí s krokem $0,5U_0$, $1U_0$ a $1,5U_0$. Každé měření je vždy uloženo a ukončeno automaticky po provedení zadaného počtu třech měřicích cyklů. Měření se postupně provádí pro každou fázi.

Na závěr technik měření provádí vyhodnocení výsledků prostřednictvím zmapovaných impulzů získaných z měření. Mapovací snímek umožňuje technikovi fázový a polohový přehled impulzů – viz Obr. 27. Technik klasifikuje impulzy buď jako částečný výboj, možný částečný výboj, nebo zanedbatelný výboj. Impulzy, které v kabelu s plastovou izolací nedosáhnou hodnoty $0,5 \text{ nC}$, se můžou zanedbat. U papírové a kombinované izolace jsou bezvýznamné výboje do 1 nC . Ostatní ČV se klasifikují na základě tvaru jednotlivých výbojů nebo na četnosti ČV nad rámec provozní úrovně podle typu kabelu. Četnost ČV nad povolenou úrovní řeší „Kritérium hodnocení lokální diagnostiky částečných výbojů“. Technik pomocí kritéria určuje další postup. Případy stavu měřeného kabelu podle kritéria:

- OK – bez zjištění,
- podezření na závadu,
- rozvíjející se závada,
- vážná závada, atp.



Obr. 27: Mapovací snímek impulzů

3.10 Měření kvality elektrické sítě

Základní činností technika měření je fyzické provádění měření kvality elektrické sítě přímo u odběratele. Hlavním úkolem technika je provést kvalitní měření, výsledky měření správně vyhodnotit, a pokud je potřeba, navrhnout vhodné opatření k vyřešení problému. Kvalita elektrické energie se měří pomocí vhodného analyzátoru a určuje se pomocí parametrů, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 50160. Mezi tyto parametry patří frekvence sítě, napájecí napětí, flikr, nesymetrie napájecího napětí, harmonické napětí, poklesy napětí a přepětí. Analyzátor kvality také umožňuje měřit proudy, výkony a další. Technik měření se většinou zabývá stížnostmi od odběratelů, ale také provádí preventivní měření sledovaných parametrů v rozvaděcích NN. Pokud je stížnost oprávněná, zákazník má nárok na odškodnění dle vyhlášky o kvalitě dodávek elektřiny č. 540/2005 Sb., § 6.

3.10.1 Přístroje a příslušenství k měření kvality

K měření se používají analyzátory měření kvality PQ monitor v provedení MEg 30.4 nebo v novějších verzích MEg 37 a MEg 38. PQ monitor slouží pro měření a záznam veličin v trojfázových čtyřvodičových i pětivodičových NN sítích a v sítích VN a VVN. V souladu s normou ČSN EN 50160 a dle metod mezinárodního standardu IEC 61000-4-30 analyzuje všechny parametry kvality napětí na vstupech U_1 , U_2 a U_3 . Novější typy přístrojů MEg obsahují anténu, GPS lokátor a navíc službu GPRS, která umožňuje dálkově stahovat změřené hodnoty. MEg 38 se používají především pro měření u odběratele v HDS, neboť jsou velmi přesné. U přístroje se provádí povinná kalibrace jednou za dva roky.

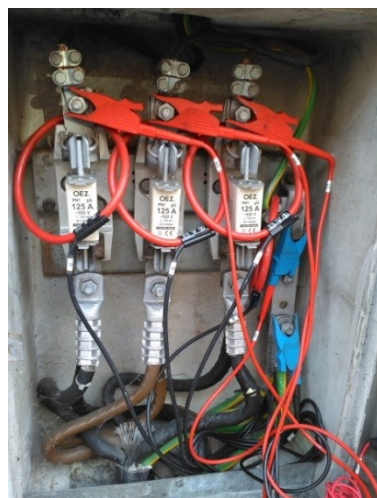
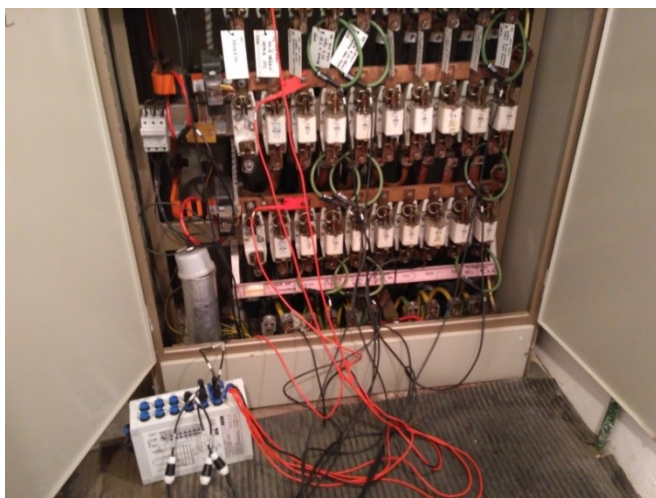
K měření střídavého proudu se používají snímače proudu AMOS PQ. Snímač proudu je navržen pro pevně instalované měřicí přístroje v energetických provozech. Skládá se z ohebné snímací části střídavého proudu na principu Rogowského cívky.



Obr. 28: Měřicí přístroj MEg 37 se snímači proudu [22]

3.10.2 Způsob měření kvality elektrické sítě

Při preventivní kontrole kvality NN sítě se připojí měřicí přístroj do rozvaděče trafostanic. Snímače proudu se postupně obepnou na hlavní přívod, nulový vodič a na tři nejzatíženější vývody na každé fázi, které se zjišťují klešťovým ampérmetrem. Napětí se měří pomocí krokosvorek, které připojíme na fáze a na nulový vodič. Pokud je v rozvaděči málo místa, může se ke změření napětí použít vysunovací krokosvorka, též GRIP. Následně se může vykonat měření důležitých parametrů pro určení kvality elektrické sítě.



Obr. 29: Ukázka zapojení přístroje MEg 37 do rozvaděče NN a MEg 38 do HDS u odběratele

Měření se provádí po dobu 7 kalendářních dnů, přičemž záznam se vykonává po 10minutových intervalech. Z toho plyne, že musí být změřeno minimálně 1008 vzorků. Změřená data z měřicího přístroje se zpracují do příslušného systému. Systém nejenže vyhodnotí změřené údaje a porovná, jestli jsou hodnoty v normě, ale také vykreslí průběhy (napětí, proudy, atd.). Hodnoty proudů nejsou důležité pro určení kvality elektrické energie. Pokud se, ale v síti objeví chyba, lépe se pomocí změřených proudů určí příčina.

3.10.3 Nejčastější závada

Nejčastější problémy při měření kvality jsou vysoké hodnoty flikru. Flikr je fyzikální jev, který vznikne rychlou periodickou změnou napětí. Tento jev se projevuje změnou zrakového vnímání, která ruší člověka při jeho činnosti. Změny zrakového vnímání jsou vyvolány časovými změnami světelného toku vlivem rychlých změn napětí. Flikr vzniká zapínáním výkonných tyristorových spotřebičů, předřadníků, přímotopů nebo spínáním velkých zátěží, elektrických motorů, atp. Změřené hodnoty flikru by neměly přesáhnout hodnotu 1. [23]

Dalším problémem při měření kvality elektrické sítě je velikost napětí. Správná hodnota napětí na každé fázi se musí pohybovat v rozmezí $230\text{ V} \pm 10\%$, jinak dochází k podpětí nebo přepětí. Velikost napětí závisí na mnoha faktorech: vzdálenost odběratele od napájecí rozvodny, vzdálenost od trafostanice, počet a velikost připojených instalovaných výkonů na vedení k odběrateli. S poklesem napětí v sítích bývá potíží nejčastější. Řešení se většinou nachází ve změně průřezu vodičů nebo výstavbou posilovacího vedení.

V našem případě si zákazník stěžoval na přepětí, tím pádem technik provedl měření v rozvaděči NN a u odběratele v HDS. Po zjištění hodnot navrhl přepnutí odbočky transformátoru pro snížení napětí. Při dalším měření se zjistilo, že řešení bylo zvoleno správně a přepětí zaniklo- viz příloha III. a IV.

3.11 Zkušebna OOPP Ostrava

S rozvojem PPN je nutno zabezpečit zkoušky používaných pomůcek. Vlastní provádění zkoušek je zajištěno v podnikových a energetických zkušebnách. Soubor pomůcek pro PPN včetně OOPP je velmi rozsáhlý a tomu odpovídá i velmi rozsáhlý soubor norem s různými zkušebními metodikami. Ochranné pomůcky se rozdělují na starý typ (do roku 1995) a nový typ, tzn. platí rozdílné normy. Ve zkušebně se testují například záchranné háky, zkoušečky napětí, zkratovací soupravy, izolační příkrývky a izolační rukavice. Pro zkoušení se využívají 2 transformátory o jmenovitém napětí 250 kV a 120 kV. [24]

Před zahájením zkoušky se musí pomůcka vizuálně zkontrolovat, u zkoušečky napětí se také kontroluje akustická signalizace. Každá pomůcka musí projít zátěžovým testem na zvýšené napětí. Nové pomůcky se zkoušejí na $1,2U_N$, staré pomůcky na $3U_N$. U všech pomůcek se měří svodový proud a u zkoušečky napětí se navíc měří hodnota prahového napětí.

Na závěr se vypíše protokol, ve kterém se zhodnotí stav OOPP. Pokud pomůcka nevyhoví dielektrickým nebo funkčním zkouškám, musí se bezpodmínečně vyřadit z používání. V opačném případě se pomůcka označí štítkem, který udává dobu platnosti revize. Zkouška mobilních pomůcek se provádí jednou za dva roky, rukavice jednou za půl roku.

3.11.1 Kontrola dielektrických rukavic

Postup pro přezkušování rukavic z izolačního materiálu je dán normou ČSN EN 60 903. Rukavice se vyrábějí o různých délkách a v šesti třídách lišících se v elektrických vlastnostech s označením: třída 00, 0, 1, 2, 3, 4. Při zkoušce se rukavice naplní vodou cca 9 cm pod okraj a následně se ponoří do nádoby s vodou. Výška vody v rukavici a v nádobě musí být přibližně stejná. Každá rukavice musí vyhovět zkušebnímu střídavému napětí, které je do rukavice dodáno přes měděnou tyčovou elektrodu. Velikost zkušebního napětí závisí na třídě rukavice. Po dosažení daného napětí se zkouška provádí nepřetržitě po dobu 1 minuty. Zároveň se měří svodový (unikající) proud, který nesmí přesahovat hodnoty podle normy v kteroukoliv dobu kontrolní zkoušky. Pokud se při zkoušce rukavice pálí nebo dojde k úplnému průrazu materiálu, musí se vyřadit z používání.



Obr. 30: Zkouška dielektrických rukavic

3.11.2 Kontrola zkoušečky VN

Při kontrole zkoušečky VN (z roku 2009) pro jmenovité napětí 25 kV jsme přivedli pomocí transformátoru zkušební napětí o hodnotě 30 kV. Zkouška trvá po dobu 1 minuty, kdy se zároveň měří i velikost svodového proudu, který nesmí přesáhnout hodnotu 50 μA (nový typ) nebo 500 μA (starý typ). Pokud je akustická signalizace po zkoušenou dobu nepravidelná, musí se vyměnit baterie nebo opravit elektronika zkoušečky. Změřili jsme také prahové napětí, což je minimální hodnota, při které ještě zkoušečka signalizuje výskyt vysokého napětí. Pro zkoušečku VN 25 kV je povolený rozsah prahového napětí od 2,2 kV do 9,9 kV.

Tab. 3: Změřené hodnoty v našem případě

Typ	Výrobní číslo	Jmenovité napětí (kV)	Zkušební napětí (kV)	Svodový proud (μA)	Prahové napětí (kV)	Stav
Zkoušečka VN	09/059	25	30	9,6	6,4	Vyhovuje

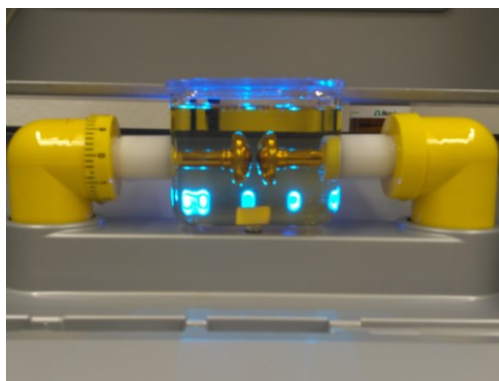
3.12 Olejová laboratoř

V olejové laboratoři se provádí diagnostika izolačního oleje. Olej v elektrických zařízeních plní funkci izolantu a média pro odvod vznikajícího nadměrného tepla. Izolační olej se používá v transformátorech, tlumivkách, vypínačích, atd. V rámci diagnostiky se u olejů měří: hustota, kyselost, tangens delta, obsah vody a plynů, korozní síry, povrchové napětí, průrazné napětí a množství inhibitoru. Každá část diagnostiky se provádí pomocí vhodného měřicího přístroje. Do laboratoře se dodá vzorek oleje, který je umístěn ve skleněné nádobě.

Nejdříve se u dodaného vzorku měří obsah plynů v oleji, z důvodu rychlého vyprchávání plynů z testované kapaliny. Vlivem vysoké teploty elektrického zařízení dochází k přepalování oleje, což má za následek vznik nežádoucích plynů (vodík, oxid uhličitý, atd.). Plyny se v oleji analyzují pomocí chromatografu, který dokáže při pravidelných kontrolách včas odhalit závadu (např. velké tepelné namáhání stroje).

Na nádobě vzorku jsou zapsány důležité údaje (teplota stroje a teplota oleje), které slouží pro výpočet obsahu vody v oleji. Nádoba musí být zaplněna vzorkem až po okraj a to z hlediska případné kontaminace oleje vlhkostí ze vzduchové kapsy. Zkoumaný olej se odebere do injekční stříkačky a vstříkne se do připraveného roztoku, který je připojen na měřicí systém, ten následně vypočítá obsah vody v oleji. Vyšší obsah vody má zhoršující vliv na dielektrické vlastnosti oleje.

Při měření průrazného napětí se olej nalije do nádoby mezi dvě elektrody. Vhodný přístroj přivádí postupně na elektrody napětí a zároveň zapisuje hodnotu, při které vznikl mezi elektrodami přeskok, tj. průrazné napětí. Přístroj provede 6 měření průrazného napětí, ze kterých se určí střední hodnota. Dále se vypočítá poměr střední hodnoty k směrodatné odchylce. Pokud je výsledek do 20 %, tak je průrazné napětí oleje v pořádku.



Měření 1	54.1 kV
Měření 2	41.7 kV
Měření 3	58.3 kV
Měření 4	48.7 kV
Měření 5	53.9 kV
Měření 6	34.3 kV
Stř. hodn.	48.5 kV
Směr. od.	9.0 kV
Std. Od/Stř	18.5 %

Obr. 31: Měření průrazného napětí oleje včetně výsledků

Pro stanovení množství inhibitoru v izolačním oleji využívá daný přístroj infračervené vlny. Inhibitor je chemická látka zajišťující delší životnost oleje, neboť zabraňuje vzniku koroze.

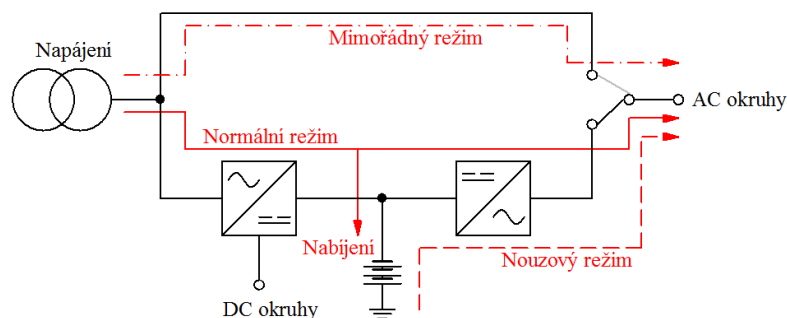
Jakmile vymizí inhibitory, vzniknou v oleji korozní síry, což uvnitř stroje způsobí korozi. Do zkumavek naplněné testovaným olejem se vloží po dobu 72 hodin stříbrné a měděné proužky. Olej se ohřeje na 150 °C, aby se proces urychlil. Pokud jsou po uplynutí určeného času proužky poškozené, obsahuje olej zvýšené množství korozní síry, tzn. olej se musí ihned vyměnit z hlediska bezpečného provozu elektrického zařízení.

4 Oddělení elektrické stanice Lískovec

4.1 Vlastní spotřeba

Vlastní spotřeba (dále jen VS) rozvodny je zajištěna dvěma transformátory 22/0,4 kV. V běžném provozu se využívá první transformátor jako hlavní a druhý jako záložní. Oba transformátory mají jmenovitý výkon 1000 kVA. Ve VS se využívají také usměrňovače, které převádí střídavé napětí z transformátoru na stejnosměrné. Část energie z usměrňovačů napájí DC okruhy rozvodny a akumulární baterie. Zbytek energie prochází přes střídač, který napájí AC okruhy. Napětí ze střídače je tzv. zajištěné napětí a při nouzovém režimu napájí pomocí baterií důležité AC okruhy rozvodny (nouzové osvětlení, AC pohony vypínačů, atd.).

V případě výpadku elektrické energie je VS zajištěna z akumulárních baterií. V rozvodně Lískovec je celkem osm baterií o jmenovitém stejnosměrném napětí 220 V, 60 V, 48 V a 24 V. Každá napěťová hladina slouží pro určené zařízení. Například baterie 220 V slouží k ovládání vypínačů, odpojovačů, ochran a DC pohonů vypínačů. Akumulátorové baterie jsou umístěny v suterénu rozvodny v samostatné místnosti.



Obr. 32: Jednoduché schéma vlastní spotřeby rozvodny

4.1.1 Diagnostika akumulárních baterií

Po výpadku elektrické energie rozvodny musí provoz na bateriích fungovat do té doby, než se výpadek odstraní. Baterie by měly zvládnout napájet rozvodnu Lískovec po dobu 3 hodin. Diagnostikou se kontroluje, zda jsou baterie v provozuschopném stavu. Baterie se skládají z jednotlivých článků o jmenovitém napětí 2 V, které jsou zapojeny do série. Na jednotlivých člancích se provádí kapacitní zkouška, pomocí které se udržují články v provozu, aby hodnota kapacity neklesala. Při zkoušce jsou články po dobu několika hodin vybíjeny přes odpor na jednu čtvrtinu své kapacity. Pokud je hodnota napětí článku nižší než povoluje norma, musí se článek vyměnit.

V našem případě jsme kontrolovali stav 60 V baterie. Jelikož je skutečná hodnota článku bez zatížení vyšší než 2 V (asi 2,25 V), poskládáním všech článků dostaneme vyšší napětí než 60 V. Udržovací napětí je vždy větší, neboť při zatížení spotřebičem klesne napětí na požadovanou jmenovitou hodnotu.

V rámci diagnostiky, která se vykonává jednou ročně, se dále provádí:

- kontrola hustoty elektrolytu jednotlivých článků pomocí hustoměru,
- kontrola hladiny elektrolytu, včetně jeho doplnění destilovanou vodou,
- kontrola a dotažení proudových spojů,
- čištění článků.



Obr. 33: Akumulační baterie 60 V

4.1.2 Diagnostika střídačů

Střídače mění stejnosměrné napětí z usměrňovačů (v případě nouzového režimu z baterií) na střídavé napětí, které napájí v rozvodně AC okruhy. Počet střídačů je dán velikosti zátěže VS. V rozvodně Lískovec se využívají tři střídače, které jsou vyvedeny na společné sběrnici. Střídače jsou vybaveny vlastním ventilátorem, aby nedocházelo k přehřívání. Obsahují také tzv. by-pass, který při poruše střídačů přivádí napájení pro AC okruhy rozvodny přímo z transformátoru VS.

V našem případě jsme provedli diagnostiku na střídači GSN12. Kontrolovaný střídač se vypne a jeho zátěž si rozdělí ostatní střídače mezi sebou. Měří se kvalita uzemnění střídače pomocí ohmmetru. Čím menší je změřená hodnota odporu, tím je uzemnění lépe provedeno. Před dalším měřením se zjistí jmenovité hodnoty výstupních parametrů střídače, které musí být v rámci měření dodrženy. Pomocí voltmetru se měří napětí a prostřednictvím ampérmetru proud. Výstupní napětí střídače nám vyšlo 230 V a výstupní proud 10,9 A, což je v pořádku.

4.2 Diagnostika distanční ochrany a opětovného zapnutí

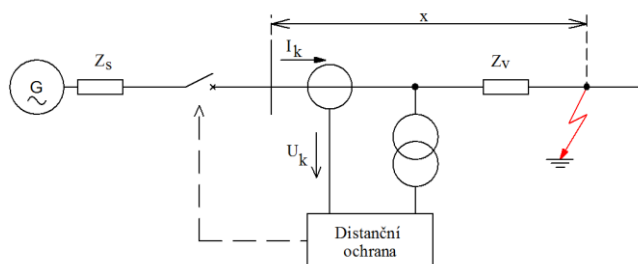
4.2.1 Úvod

Ochrana je zařízení, které kontroluje správný chod určité části energetické soustavy, např. vedení. Ochrana zpracovává informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu, které získá z měřících transformátorů proudu a napětí a rozlišuje, zda se chráněný objekt nachází v normálním provozním stavu nebo v poruchovém stavu. Pokud se jedná o poruchový stav, ochrana odepne chráněný objekt.

V našem případě jsme provedli diagnostiku elektromechanické distanční ochrany D114 vypínače VVN 110 kV. Distanční ochrana určuje impedanci ze změřeného napětí a proudu v místě připojení ochrany. Jestliže při zkratu na vedení je vypočtená hodnota impedance zkratové smyčky (podle vzorce (4)) menší než nastavená hodnota, ochrana zapůsobí a pošle vypínací impuls na vypínač. Veličiny U_k a I_k určují nejenom impedanci, ale také vzdálenost zkratu od ochrany.

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}, \quad (4)$$

kde U_k je napětí v místě ochrany, I_k je proud v místě ochrany, Z_k je impedance zkratové smyčky



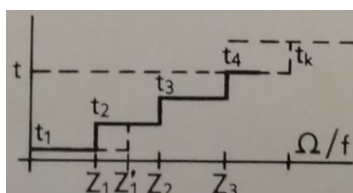
Obr. 34: Připojená distanční ochrana na vedení se zkratem

Ochrany zpravidla využívají funkci opětovného zapnutí (dále jen OZ). Úkolem mechanismu OZ je zkrátit dobu přerušení dodávky elektřiny. Většina poruch má krátkodobý charakter. Jsou způsobeny např. úderem blesku do vedení, přeskokem, pádem větve. Poté, co ochrana vypne zkrat, mechanismus po uplynutí beznapěťové pauzy posílá impuls k opětovnému automatickému zapnutí vypínače. Beznapěťová pauza většinou postačuje k obnovení izolačních schopností vedení. OZ může být úspěšné nebo neúspěšné.

4.2.2 Provedení diagnostiky ochrany

Před provedením diagnostiky ochrany se nejprve vypíše příkaz B a zajistí se beznapěťový stav pracoviště, dle směrnic BOZP. Musí se tedy odstavit příslušné pole. Při diagnostice nedojde k omezení dodávky elektrické energie, neboť vývod odstaveného pole se v rozvodně Lískovec napájí přes kombinovanou spojku z jiného pole.

Distanční ochrana musí zapůsobit do určitých časových okamžiků od vzniku poruchy, které jsou určeny na základě vzdálenosti poruchy od ochrany (velikosti impedance). V našem případě jsou na ochraně nastavené časy: $t_1 = 0,5$ s, $t_2 = 1,5$ s, $t_3 = 2,9$ s. Měřením se ověřuje správné působení ochrany v těchto časech.



Obr. 35: Časové odstupňování závislé na velikosti impedance

Diagnostika se provádí pomocí zkušebního zdroje proudu a napětí, který nasimuluje poruchu. Na zkušební dekádě se postupně nastavují velikosti impedance a kontroluje se včasné vybavení ochrany. Přidáváním impedance na dekádě se nám vypínací časy ochrany prodlužují. Měření časů se provádí mezifázově a fázově (jednotlivé fáze proti zemi).

Výhodou této ochrany je vzdálené zálohování, tzn. v rozvodně na konci linky je také distanční ochrana. Poruchu na lince vybaví ochrana, která má poruchu blíže a může tak vypnout linku v kratším čase. Vzdálenější ochrana pak plní funkci ochrany záložní.

Pokud se změní parametry vedení (měrný elektrický odpor, délka vedení, průřez vodiče) nebo poměr měřících transformátorů, musí se také změnit nastavení vypínacích časů ochrany.

4.2.3 Provedení diagnostiky opětovného zapnutí

Na distanční ochranu je připojen mechanismus OZ 111, na kterém jsme provedli kontrolu zapínacích časů. Pokud dojde k jednofázovému zkratu, mechanismus má v našem případě nastavený zapínací čas na $t_{1f} = 0,3$ s. Při trojfázovém zkratu musí zapnout za $t_{3f} = 0,5$ s. Pomocí zkušebních zdrojů a dekád se znovu nasimuluje porucha na vedení a kontrolují se tyto zapínací časy OZ. Některé části energetické soustavy nepoužívají ochrany s OZ, neboť vypnutí a okamžité zapnutí může mít negativní vliv na jejich funkci. OZ může být:

- 1) Úspěšné – např. třífázový zkrat na vedení způsobil krátkodobý výpadek (úder blesku). Po dobu 0,5 s je na vedení beznapěťová pauza, následně dojde k úspěšnému OZ a nedojde tak k dlouhodobému omezení dodávky elektrické energie. Po úspěšném OZ nesmí dojít v blokovacím čase, v našem případě 20 s, k další poruše, jinak se vedení vypne. Pokud bude splněna podmínka 20 s, může OZ probíhat i několikrát za sebou.
- 2) Neúspěšné – např. třífázový zkrat na vedení způsobil trvalý výpadek (spadlá větev zůstala na vedení). Po beznapěťovém stavu 0,5 s vydá OZ zapínací impuls. Ochrana ale vyhodnotí, že porucha trvá a dojde k omezení dodávky elektrické energie. Linka se může znovu zapnout po odstranění závady.



Obr. 36: Mechanismus opětovného zapnutí OZ 111

4.2.4 Závěr

Na závěr měření se vypíše protokol, kde se zapíší výsledky diagnostiky a určí se, jestli ochrana a OZ pracují správně. Diagnostika elektromechanické ochrany a mechanismu OZ se na hladině VVN vykonává jednou ročně.

V současnosti se používají převážně ochrany digitální, protože jsou přesnější, rychleji působí a vytvoří nám záznam o vzniklé poruše. Diagnostika digitální ochrany je též jednodušší. Digitální ochrana obsahuje v jednom distanční, nadproudovou a zkratovou ochranu včetně mechanismu OZ. Pokud dojde k přerušení vstupního napětí z měřicího transformátoru napětí, ochrana přepne z distanční na nadproudovou/zkratovou a sleduje hodnoty proudu, ze kterých vyhodnocuje případný nadproud/zkrat. Přepnutím ochrany se změní vypínací časy. Diagnostika digitální ochrany se provádí jednou za čtyři roky.

4.3 Diagnostika vakuového výkonového vypínače

Výkonové vypínače jsou spínače schopné vypínat nebo zapínat všechny provozní proudy vyskytující se v elektrických obvodech, tedy i proudy zkratové. Mají spoušť, která při zkratu samočinně obvod rozpojí. Vypínač se skládá z mechanismu, kontaktů, zhášecí komory, izolace a proudovodné dráhy. Mechanismus obsahuje ovládací vinutí, střádací pružinu, motor k natažení pružiny, spínací hřídel, počítadlo spínacích cyklů a indikátor spínací polohy. Při vypnutí dochází ke vzniku elektrického oblouku, a proto je vypínač vybaven zhášecím médiem. Podle zhášecího média rozeznáváme výkonové vypínače: magnetické, máloolejové, tlakovzdušné, plynotlaké a vakuové.

V rozvodně Lískovec 110 kV se využívají vypínače plynotlaké, jejichž zhášecím médiem je SF₆. Rozvodna 22 kV převážně používá vypínače vakuové. Na jednom z vývodových vakuových vypínačů jsme provedli diagnostiku.



Obr. 37: Vakuový vypínač ABB

Před zahájením diagnostiky je nutné zajistit pracoviště, vypíše se tedy příkaz B. Příkaz B obsahuje všechny úkony pro zajištění např. odstavení vypínače z provozu, umístění zkratovacích souprav ze všech možných stran napájení, ověření beznapětového stavu, atd.

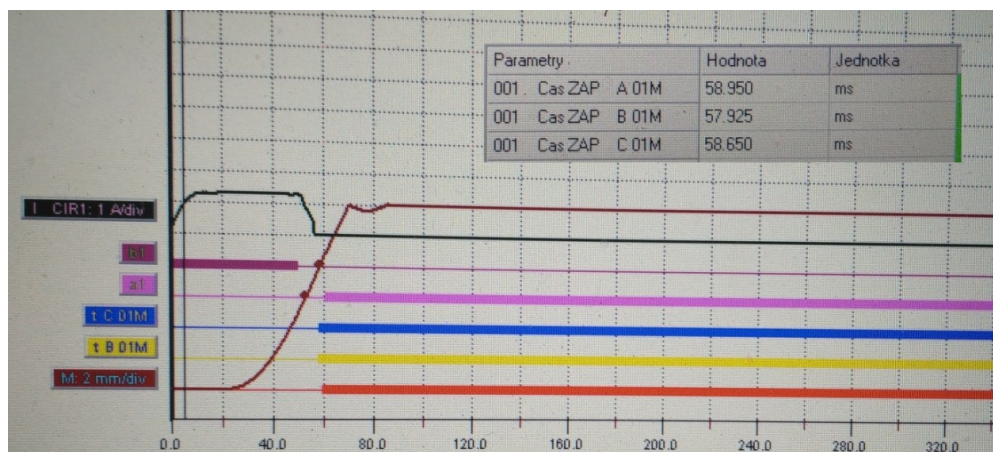
Jako první se měří izolační stav zhášecího média - vakua, který se provádí vysokonapětovou zkouškou pomocí zkušebního zdroje. Velikost napětí se určuje podle typu vypínače, podle napětové hladiny vypínače a podle typu zhášecího média. Pro vývodový vakuový vypínač 22 kV se nastavilo zkušební napětí 60 kV.

Další zkouškou se kontroluje izolační stav ovládacího vinutí pomocí měření izolačního odporu. Měření izolačního odporu je účinným nástrojem pro stanovení kvality izolace vinutí vůči zemi. Na ovládací vinutí se přivádí zkušebním zdrojem stejnosměrné napětí 500 V, zatímco kostra je uzemněná. Správně se má izolační odpor pohybovat v řádech GΩ.

V další části se nastavuje na vypínač snížené napětí, při kterém ještě musí ovládací cívky pracovat. Cívky jsou v normálním stavu napájeny stejnosměrným napětím 220 V. Pokud ale nastane nouzový režim a dojde k přerušení hlavního napájení, může být vypínač po určitou dobu napájen přes akumulární baterie 220 V. Samotné baterie však postupem času ztrácejí maximální hodnoty napětí, a tak vypínač musí vždy pracovat i při sníženém napětí. Na zkušebním stejnosměrném zdroji

připojeném na vinutí se pro zapnutí nastaví 80% U_N a pro vypnutí 70% U_N , což jsou hodnoty sníženého napětí, při kterých ještě vypínač musí fungovat.

Pomocí měřicího přístroje TM1800 změříme časy vypnutí a zapnutí vypínače. Čas vypnutí vypínače nesmí podle kritérií překročit hranici 50 ms, čas zapnutí nesmí překročit 70 ms. V našem případě se zapínací časy všech fází pohybovaly kolem 58 ms (viz Obr. 38). Ke snímání času se využívají měřící kleště, které jsou připojeny na přívod a vývod vypínače. Z důvodu tzv. zapnutí do poruchy se měří také čas od zapnutí do vypnutí vypínače. Zároveň se při měření časů snímá pomocí rotačního snímače pohyb hřídele motoru. Hřídel přenáší spínací energii na vakuové komory.



Obr. 38: Křivky vypínače při zapnutí

Další zkouškou se zjišťují nadměrné vibrace při vypnutí nebo zapnutí vypínače. Nadměrná mohutnost kmitání může vypínač poškodit. Měření se provádí pomocí akcelerometru, což je vibrační čidlo, které se připojí na přívod vypínače. Na displeji přístroje TM1800 se zobrazí křivky, které se vyhodnocují. Tvar křivek jednotlivých fází musí být přibližně stejný. V případě odlišností se křivky ještě můžou porovnávat vůči výsledkům z minulé diagnostiky. Často bývá při měření problém se snímacím zařízením, neboť je velmi citlivé.

Správná funkčnost motoru se kontroluje pomocí měření proudu motoru. Motor je napájen střídavým napětím 230 V. Ze změřené křivky zobrazené na obrazovce přístroje TM1800 nás zajímá velikost nárazového proudu. Z křivky se zjistí rovněž doba nátahu střídací pružiny, která je v našem případě 11 s. Pružina pomocí motoru nastřádá energii, kterou využije ke spínání kontaktů. Nastřádaná energie postačí pro tři spínací pochody (vypnutí - zapnutí - vypnutí).

Poslední zkouškou se měří přechodový odpor kontaktů, což je nežádoucí jev, který se snažíme minimalizovat. Vlivem spínání kontaktů dochází k opotřebení dotykové plochy. Tím se snižuje plocha dotyku a protékající proud je omezen, tzn., přechodový odpor roste. Snížení odporu lze docílit vhodným výběrem materiálu kontaktních ploch nebo zvětšením dotykové plochy, které můžeme dosáhnout vhodnou údržbou, tj. čištění a broušení kontaktů. V našem případě jsme na jednotlivé póly vypínače přivedli prostřednictvím proudového zdroje 200 A. Pomocí mikroohmetru jsme zjistili, že hodnota přechodového odporu je pro všechny fáze přibližně stejná 77 $\mu\Omega$. Z proudu a odporu jsme nakonec vypočítali úbytek napětí na hlavní proudové dráze, který v našem případě pro každou fázi vyšel cca 15,4 mV.

Na závěr diagnostiky se vypracuje protokol měření a vyhodnotí se na základě daných kritérií stav jednotlivých částí i celkový stav vypínače. Diagnostika vypínače se provádí jednou za čtyři roky.

5 Závěr

5.1 Znalosti získané v průběhu studia a uplatněné v průběhu odborné praxe

Na VŠB-TUO jsem se za 3 roky svého studia setkal s mnoha předměty. V rámci odborné praxe mi byl nejužitečnější předmět Diagnostika na elektrických zařízeních, díky kterému jsem měl přehled o prováděných činnostech zejména v oblasti termovize a diagnostiky kabelového vedení. Dalšími předměty, díky kterým jsem se v dané problematice rychleji zorientoval, jsou Přenos a rozvod elektrické energie, Poruchy a chránění elektrických sítí a Elektrické přístroje I. Znalosti z těchto předmětů jsem využil na úseku elektrických sítí i na pracovišti elektrické stanice.

5.2 Scházející znalosti v průběhu odborné praxe

Během absolvování odborné praxe jsem se setkával s nejrůznějšími pracovními aktivitami, při kterých mi občas chyběly teoretické znalosti. Absenci neznalostí jsem vyřešil dohledáváním informací z odborných publikací nebo díky vstřícnosti zkušených zaměstnanců ČEZ Distribuce, a.s., kteří mi daný problém vysvětlili a poskytli požadované odborné informace.

5.3 Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení

Díky odborné praxi ve společnosti ČEZ Distribuce, a.s. jsem postupně získával nové poznatky a vědomosti ohledně plánování, provádění odborných činností, měření, údržby, atp. V kapitolách bakalářské práce jsou uvedeny jednotlivé pracovní aktivity, se kterými jsem se v rámci praxe setkal. Na základě nových poznatků jsem si rozšířil své vědomosti, což bude mít jednoznačně pozitivní vliv na mém pokračování v navazujícím magisterském studiu nebo v případném zaměstnání.

Celkově hodnotím praxi jako velmi povedenou a přínosnou. Jsem rád, že mi VŠB-TUO umožnila získat další informace formou odborné praxe se zkušenostmi přímo z terénu. Zároveň oceňuji a vážím si každodenní práce firemních zaměstnanců, kteří svou práci provádějí zodpovědně na vysoké technické úrovni při dodržování všech předpisů BOZP. Z mého hlediska byla jednou z nejzajímavějších činností termovizní diagnostika, vyhledávání poruch v kabelovém vedení a přezkušování OOPP. Z vlastní zkušenosti můžu absolvování odborné praxe doporučit všem studentům, kteří chtějí rozšířit své teoretické znalosti.

Literatura

- [1] ČEZ [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/ČEZ>
- [2] *Informace o společnosti* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/informace-o-spolecnosti/zakladni-informace.html>
- [3] *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458#cast1>
- [4] *Příručka pro elektrikáře ČEZ* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://projekty.osu.cz/akreditace2017/Prirucka%20pro%20elektrikare%20CEZ.pdf>
- [5] *Uživatelská příručka: Řada FLIR T6xx*.
- [6] *FLIR T640* [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://monroeinfrared.com/wp-content/uploads/2012/07/t640-high-def-2-images.jpg>
- [7] MIŠÁK, Stanislav. *Diagnostika na elektrických zařízeních*. VŠB-TU Ostrava, 2018.
- [8] VAVŘIŇÁK, Petr. *Elektrické přístroje* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/KZ/elektricke_pristroje.pdf
- [9] *Úsekové odpínače* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://www.vybojky-zarovky.cz/odpinace_teorie.html
- [10] PNE 33 0000-6. *Obsluha a práce na elektrických zařízeních pro výrobu, přenos a distribuci elektrické energie*. 2. vydání. 2007.
- [11] *Přístroj RD7000* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://6.allegroimg.com/s1024/0cbc0e/e1114d6e404984b633f1c9aef926>
- [12] *Návod k obsluze: RD7000+*.
- [13] *Návod na použití: Generátor CI TX*.
- [14] *Přijímač a generátor* [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: https://cuthbertsonlaird.co.uk/2213-large_default/megger-ci-cable-identifier.jpg
- [15] *Návod na použití: Přijímač CI RX*.
- [16] *Návod k obsluze: DigiPHONE+*.
- [17] *DigiPHONE+* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://cuthbertsonlaird.co.uk/2231-large_default/seba-digiphone-surge-wave-receiver.jpg
- [18] CHMELÍK, Karel. *Technická diagnostika na elektrických zařízeních*.
- [19] *Návod k obsluze: Centrix city - Kabelový měřicí vůz s centrálním řízením*. A (08/2019) - CZ.
- [20] ČSN EN 60270. *Technika zkoušek vysokým napětím - Měření částečných výbojů*. 2001.
- [21] *Návod k obsluze: PDS 60*.
- [22] *Přístroj MEG 37* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: http://www.e-mega.cz/f/Image/aktuality/meg37_small.jpg
- [23] SANTARIUS, Pavel, Josef GAVLAS a Milostav KUŽELA. *Kvalita dodávané elektrické energie* [online]. VŠB - TUO, 2001 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: https://elektrika.cz/obr/kvalita_energie.pdf
- [24] ŠTASTNÝ, Vítězslav. *Osobní ochranné prostředky a pracovní pomůcky* [online]. 2010 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.energetikainfo.cz/33/osobni-ochranné-prostředky-a-pracovní-pomůcky-zkouseni-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EvTRUDW-RlnxRVXW5B11kx3VRYFLS2WAvA/>
- [25] VÁPENÍK, René. *Opětné zapínání v distribuční soustavě vysokého napětí*. Ostrava, 2010, (2). ISSN 1213-1539.

Seznam příloh

Příloha I. Příkaz B	44
Příloha II. Příloha k příkazu B	45
Příloha III. Zjištěné průběhy napětí (přepětí)	46
Příloha IV. Zjištěné průběhy napětí po přepnutí odbočky transformátoru (zánik přepětí)	47



DISTRIBUCE

PŘÍKAZ B

číslo 017

kniha číslo 12751

1 Zajišťování pracoviště bude řídít (jméno): MAJKA podpis: [podpis] dne: 23.10.2019 hodin: 7⁰⁰
2 pracoviště bude zajištěno pro práci bez napětí*) - v blízkosti*) - na zařízení vypnutém (nezajištěném*) RPV US OS 8440
3
4 na zařízení: VÝKONOVÝ VÝROBEK VN 22 kV č. 121 MA21 US OS 3172 A OS 8440
5

POZOR, ZAJIŠŤOVÁNÍ A ODJIŠŤOVÁNÍ PRACOVIŠTĚ JE PRÁCE POD NAPĚTÍMI

PRO ZAJIŠTĚNÍ PRACOVIŠTĚ BUDDU PROVEDENY NÁSLEDUJÍCÍ ÚKONY			ZAJIŠTĚNÍ PROVEDL - HLÁŠL
ČÁST ZAŘÍZENÍ - MÍSTO	ÚKON		
1 OS 8440 Dělov	VYPVUTO + 2VS + 3T		BUSIK
2 US OS 3172 směr US OS 8440	VYPVUTO + 2VS + 3T		BUSIK
3 US OS 8440 směr OS 8440	0SS + U a 2 2.S.		BUSIK
4 US OS 8440 směr US OS 3172	0SS + U a 2 2.S.		BUSIK
5 US OS 8440	VYMĚŘENÍ PRACOVIŠTĚ		MAJKA
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

21 Nedílnou součástí Příkazu B jsou přílohy číslo: 1

22 Zajištění pracoviště provedou a podpisy stvrzují, že jsou seznámeni o způsobu a rozsahu zajišťování

JMÉNO	PODPIS	JMÉNO	PODPIS	JMÉNO	PODPIS
1 BUSIK	[podpis]	2		3	
4		5		6	

23 Pracoviště je předáno protokolem č.: 1

24 Zajištěné pracoviště zkontroloval, byl přesvědčen dotykem holé ruky*) o beznapěťovém stavu zařízení. Nejbližší části zařízení pod napětím jsou: US OS 3172, OS 8440

25 Zajištěné pracoviště převzal dne: 23.10.2019 hodin: 8⁴⁰ vedoucí práce MAJKA podpis: [podpis]

26 Stvrzujeme, že jsme byli před zahájením práce seznámeni a poučení o stavu zajištění pracoviště a nejbližších částech pod napětím

JMÉNO	PODPIS	JMÉNO	PODPIS	JMÉNO	PODPIS
1 BUSIK	[podpis]	3		5	
2		4		6	

27 Práce skončeny, pracovníci odvoláni, ukončení prací ohlášeno. Zařízení je schopné bezpečného provozu.*) Pracoviště a Příkaz B předal (podpis): [podpis] dne: 23.10.2019 hodin: 9⁴⁰ převzal (jméno): MAJKA

28 Odjišťování pracoviště bude řídít (jméno): MAJKA podpis: [podpis] dne: 23.10.2019 hodin: 9⁴¹

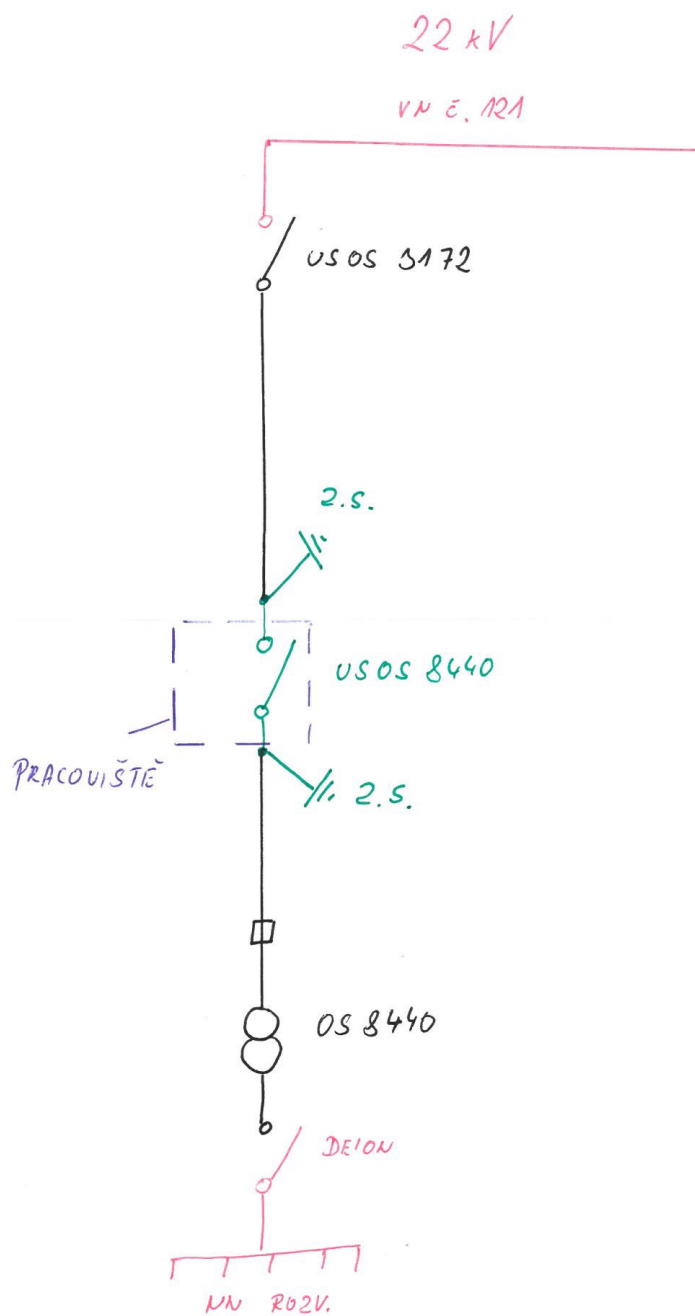
29 Odjištění pracoviště provedou a podpisy stvrzují, že jsou seznámeni o způsobu a rozsahu odjišťování

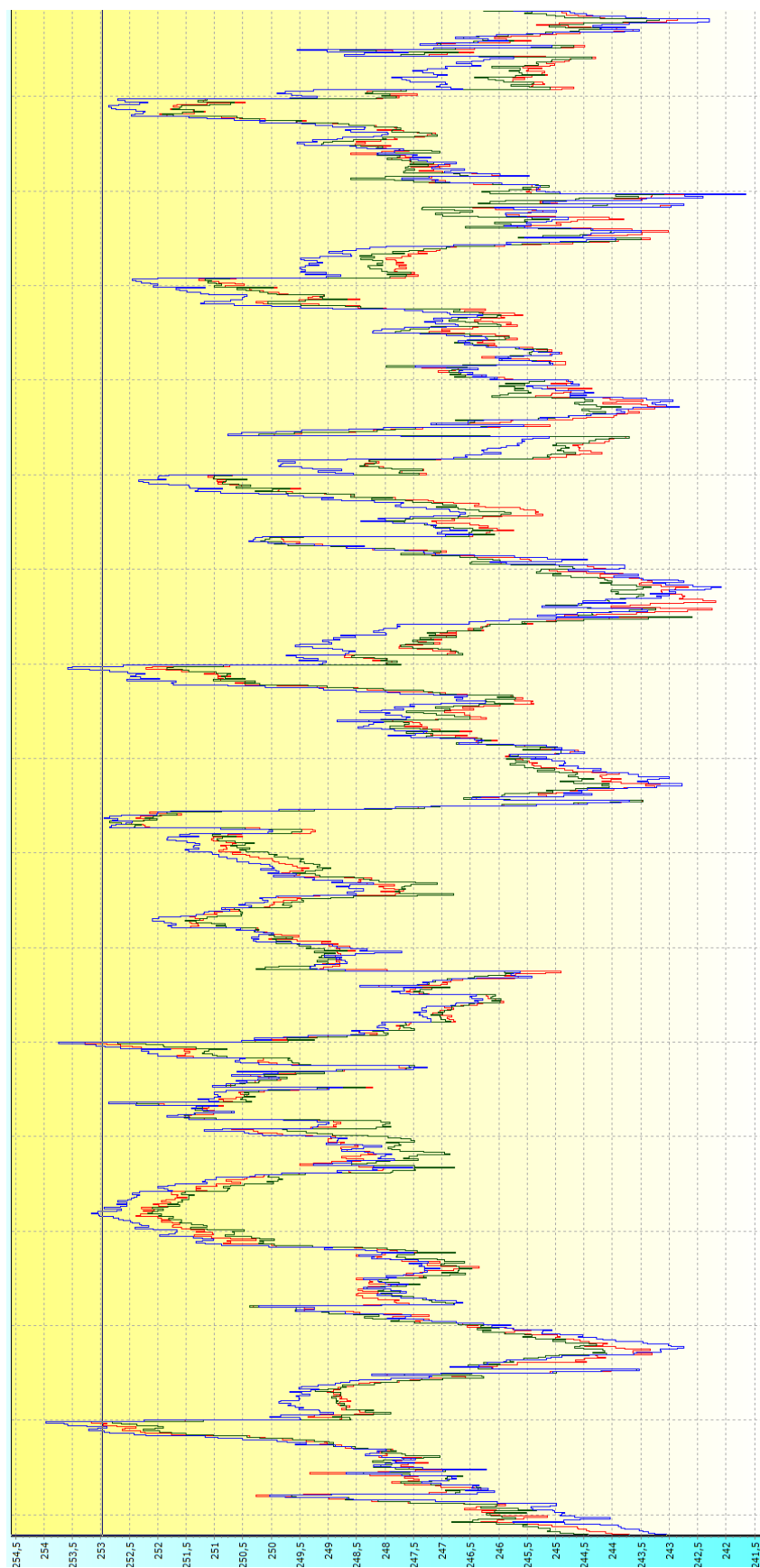
JMÉNO	PODPIS	JMÉNO	PODPIS	JMÉNO	PODPIS
1 BUSIK	[podpis]	3		5	
2		4		6	

30 Uzavření Příkazu B a ukončení pracovní činnosti nahlásil dispečerovi:

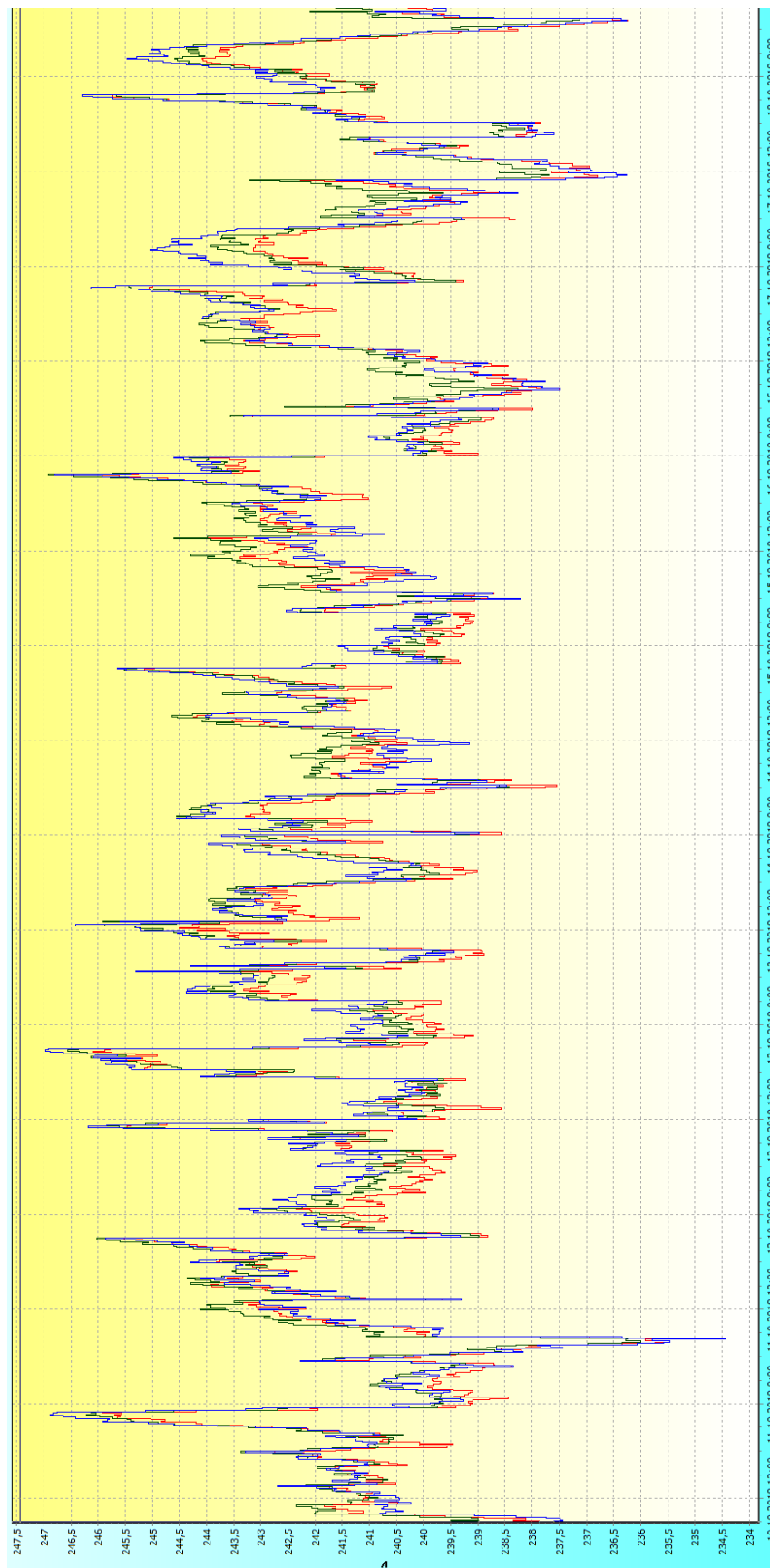
31 jméno: MAJKA podpis: [podpis] dne: 23.10.2019 hodin: 9⁵⁵

SKUPINA ČEZ





Příloha III. Zjištěné průběhy napětí (přepětí)



Příloha IV. Zjištěné průběhy napětí po přepnutí odbočky transformátoru (zánik přepětí)